

**Mestrado Integrado em Engenharia Química**

***Caracterização de Madeiras Exóticas para  
Acabamento com Vernizes Aquosos***

**Tese de Mestrado**

desenvolvida no âmbito da disciplina de

**Projecto de Desenvolvimento em Ambiente Empresarial**

**Daniela Araújo Leal Martins**



**Departamento de Engenharia Química**

Orientadores na FEUP: **Doutora Luísa Carvalho**

**Doutor. Adélio Mendes**

Orientadores na empresa: **Eng.º Fernando Oliveira**

**Eng.º Vasco Lopes**

**Fevereiro de 2008**

---

## Agradecimentos

Gostaria de começar por agradecer a todas as pessoas e entidades, que de algum modo, contribuíram directa ou indirectamente para o desenrolar deste trabalho.

Em primeiro lugar aos meus orientadores Doutor Adélio Mendes e Doutora Luísa Carvalho pela sua disponibilidade, apoio, motivação na realização desta dissertação.

Aos meus orientadores da empresa CIN, Eng.º Fernando Oliveira e Eng.º Vasco Lopes por toda a colaboração e apoio prestado.

Ao Eng.º José Luís Nogueira (CIN) e à Eng.ª Fernanda Oliveira pela colaboração que me prestaram.

Ao Mestre Jorge Martins pela sua colaboração e boa disposição.

À Doutora Cristina Coelho, do Departamento de Engenharia das Madeira da Escola Superior de Tecnologia de Viseu, pela sua disponibilidade na prestação dos seus conhecimentos.

À equipa do Departamento de Química da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto por todo o apoio e facilidades concedidas nas análises de LCMS.

À equipa do Instituto do Vinho do Porto, pela ajuda prestada no controlo da cor realizada nos seus laboratórios.

A toda a minha família, em especial aos meus pais, por todo o apoio, incentivo, espírito de sacrifício e porque sem eles nada disto seria possível.

Aos meus colegas da RCP, pela amizade e apoio sempre demonstrados, tanto a nível profissional como a nível pessoal.

A todos a minha sentida gratidão.

---

## Resumo

O acabamento é a última operação do processo de fabrico de um objecto de madeira, que consiste na aplicação de um filme protector e decorativo na superfície do material. A função principal de um produto de acabamento na madeira (como por exemplo, tintas ou vernizes) é proteger a superfície da madeira, manter uma certa aparência e promover uma limpeza fácil. A qualidade de uma superfície acabada não depende somente das características técnicas do produto aplicado, mas também das condições de aplicação e do estado da superfície da madeira.

Como um material orgânico derivado das árvores, a madeira é um polímero heterogéneo complexo composto por celulose, lenhina, hemiceluloses e uma pequena quantidade extractáveis contidos na estrutura celular. As características da madeira são determinadas por diversos factores como as espécies e as condições de crescimento. Mais precisamente, a superfície da madeira é influenciada por vários factores intrínsecos ao material, principalmente a morfologia dos polímeros, a densidade, a textura, a rugosidade, os extractáveis, o teor em água e também pelas condições de preparação da superfície. A análise da qualidade da superfície é crucial para o sucesso do controlo de qualidade do acabamento, essencialmente nos produtos de base aquosa que estão cada vez mais a ser usados, devido a regulamentações ambientais.

Hoje em dia, as madeiras exóticas são muito apreciadas para aplicações em interiores e exteriores, em Portugal; mas a aptidão dos vernizes de base aquosa para o acabamento das espécies exóticas é pouco conhecida. Entre várias espécies utilizadas em Portugal, foram escolhidas as 13 mais importantes e comercializadas: Afzélia, Carvalho, Faia, Jatobá, Mogno, Tola, Castanho, Ipê, Sucupira, Tatajuba, Wengé e Mutene.

Assim, o principal objectivo deste trabalho é estudar as características da superfície da madeira que podem afectar o acabamento final com vernizes de base aquosa. Para caracterizar a superfície da madeira foram avaliados os seguintes parâmetros: densidade, teor em água, pH de superfície, rugosidade com e sem lixagem, molhabilidade, variações de cor e extractáveis solúveis em água. Estas espécies de madeiras exóticas têm diferentes propriedades relativas à sua superfície e características, que poderão influenciar a adesão do produto e o desempenho final do acabamento (durabilidade e resistência mecânica). Algumas delas apresentam características que podem trazer dificuldades para o acabamento: elevada densidade, como o Ipê; acidez, como o Castanho, elevada rugosidade, como o Mogno; baixa molhabilidade, como a Câmbala e a forte coloração dos extractáveis solúveis em água, como o Jatobá.

**Palavras Chave:** acabamentos de Madeira, caracterização da superfície, espécies exóticas, vernizes de base aquosa.

---

## Abstract

The finishing is the last operation in the manufacture of a wooden object, which consists of an application of a decorative and protective coating, on the surface of the material. The primary function of any wood finish (paint, varnish or stain, for example) is to protect the wood surface, help maintain a certain appearance and provide a cleanable surface. The quality of a finished surface does not depend only on the technical characteristics of the applied product, but also from the application conditions and the state of wood surface.

As an organic material derived from trees, wood is a complex heterogeneous polymer composed of cellulose, lignin, hemicelluloses and minor amounts of extractives materials contained in the cellular structure. Wood characteristics are determined by many factors, such as species and growing conditions. More precisely, wood surface is influenced by several intrinsic factors of the material, mainly morphology of polymers, density, texture, roughness, extractives, moisture content and also by process conditions. The analysis of surface quality is crucial for the successful control of quality of the finishing, mostly in case of water-borne products that are increasingly being used, due to environmental regulations.

Nowadays, exotic wood species are very appreciated for outdoors and indoors applications in Portugal, but the ability of water-borne varnishes for finishing these exotic species are less known. Among the species more used in Portugal, 13 were chosen of the most important and commercialized species: *Afzelia*, *Oak*, *Beech*, *Jatoba*, *Mahogany*, *Iroko*, *Agba*, *Chesnut*, *Ipe*, *Sucupira*, *Tatajuba*, *Wengé* and *Mutényé*.

So, the aim of this work is to study several wood surface characteristics that could affect the finishing of wood with water-borne varnishes. To characterize wood surface the following parameters were evaluated: density, moisture content, surface pH, colour changes, roughness with and without sanding, wettability and water-soluble extractives. These kind of exotic wood species have different properties related to its surface and characteristics, which will influence the product adhesion and final performance of the finishing (durability and mechanical resistance). Some of them have characteristics that will bring difficulties for finishing: high density, as *Ipe*; acidity, as *Chesnut*; high roughness, as *Mahogany*; low wettability, as *Iroko* and extraction by water of strong coloured extractives, as *Jatoba*.

**Key Words:** wood finishing, surface characterisation, exotic species, waterborne varnish

---

# Índice

<b>Índice .....</b>	<b>i</b>
<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>iii</b>
<b>Lista de Tabelas .....</b>	<b>v</b>
<b>Lista de Tabelas .....</b>	<b>v</b>
<b>Notação e Glossário .....</b>	<b>vii</b>
<b>1 Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento e Apresentação do Projecto .....	1
1.2 Contributos do Trabalho.....	1
1.3 Organização da Tese.....	1
<b>2 Estado da Arte .....</b>	<b>3</b>
2.1 O Acabamento.....	3
2.2 A Madeira .....	3
2.2.1 Estrutura Microscópica .....	4
2.2.2 Composição Química .....	4
2.2.3 Estrutura Macroscópica.....	5
2.3 Espécies estudadas .....	6
2.4 Propriedades da Superfície da Madeira .....	7
2.4.1 Massa Volúmica.....	7
2.4.2 Teor em Água.....	7
2.4.3 pH de superfície .....	8
2.4.4 Rugosidade.....	8
2.4.5 Molhabilidade .....	10
2.4.6 Cor.....	13
2.4.7 Extractáveis .....	14
<b>3 Descrição Técnica .....</b>	<b>15</b>
3.1 Determinação da Massa Volúmica .....	15
3.2 Determinação do Teor em Água .....	15

<b>3.3</b>	<b>Determinação do pH de superfície .....</b>	<b>16</b>
<b>3.4</b>	<b>Avaliação do estado da superfície – Rugosidade.....</b>	<b>17</b>
<b>3.5</b>	<b>Molhabilidade.....</b>	<b>18</b>
<b>3.6</b>	<b>Cor.....</b>	<b>19</b>
<b>3.7</b>	<b>Extractáveis .....</b>	<b>21</b>
3.7.1	Determinação do pH.....	21
3.7.2	Análise por Espectrofotometria UV- Visível .....	21
3.7.3	Identificação de compostos por LCMS .....	21
<b>4</b>	<b>Resultados e Discussão .....</b>	<b>23</b>
<b>4.1</b>	<b>Massa Volúmica e Teor em Água .....</b>	<b>23</b>
<b>4.2</b>	<b>pH de superfície.....</b>	<b>24</b>
<b>4.3</b>	<b>Rugosidade .....</b>	<b>24</b>
<b>4.4</b>	<b>Molhabilidade.....</b>	<b>27</b>
<b>4.5</b>	<b>Cor.....</b>	<b>28</b>
<b>4.6</b>	<b>Extractáveis .....</b>	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>Avaliação do trabalho realizado.....</b>	<b>35</b>
<b>6.1</b>	<b>Objectivos Realizados.....</b>	<b>35</b>
<b>6.2</b>	<b>Outros Trabalhos Realizados.....</b>	<b>35</b>
<b>6.3</b>	<b>Limitações e Trabalho Futuro .....</b>	<b>35</b>
<b>6.4</b>	<b>Apreciação final .....</b>	<b>35</b>
	<b>Referências.....</b>	<b>36</b>
<b>Anexo 1</b>	<b>. Fichas Técnicas .....</b>	<b>40</b>
<b>Anexo 2</b>	<b>. Cinética de Variação do pH de superfície .....</b>	<b>54</b>
<b>Anexo 3</b>	<b>. Rugosidade .....</b>	<b>56</b>
<b>Anexo 4</b>	<b>. Cor .....</b>	<b>69</b>
<b>Anexo 5</b>	<b>Análise por espectrofotometria UV-Visível.....</b>	<b>73</b>
<b>Anexo 6</b>	<b>Identificação de Compostos por LCMS.....</b>	<b>74</b>

# Lista de Figuras

<b>Figura 2.1.</b> Principais direcções de anisotropia (Coelho, 2005).....	5
<b>Figura 2.2.</b> Corte transversal do tronco de uma árvore (Marques, 2006).....	6
<b>Figura 2.3.</b> Rugosidade média aritmética (Coelho, 2005).....	9
<b>Figura 2.4.</b> Rugosidade parcial $Z_i$ para definir Rz (Coelho, 2005).....	10
<b>Figura 2.5.</b> Modelo de Young. ....	11
<b>Figura 2.6.</b> Processo de molhabilidade de um líquido sobre a superfície da madeira (adaptado de Shi e Gardner, 2001). ....	11
<b>Figura 2.7.</b> Anisotropia do ângulo de contacto da madeira.....	12
<b>Figura 2.8.</b> Representação do sistema de cor CIELab.....	14
<b>Figura 3.1.</b> Exemplo da cinética de variação de pH de superfície para a Afzélia. ....	17
<b>Figura 3.2.</b> Medição da rugosidade ao longo do fio (a) e perpendicular ao fio (b), com o rugosímetro SJ – 400 da Mitutoyo .....	18
<b>Figura 3.3.</b> Medidor de ângulos de contacto <i>OCA 20</i> da <i>Dataphysics</i> .....	19
<b>Figura 3.4.</b> Exemplo da determinação do ângulo de equilíbrio para amostra de Mogno. ....	19
<b>Figura 3.5.</b> Extracções com água das espécies de madeira. ....	20
<b>Figura 3.6.</b> Medição da cor das amostras antes (a) e depois das extracções, com o espectrofotómetro portátil <i>ColorEye XTH</i> da <i>GretagMacbeth</i> .....	20
<sup>1</sup> NP EN 350-2 (2001) ; <sup>2</sup> Casasús (1997) ; <sup>3</sup> AIMMP.....	23
<b>Figura 4.1.</b> pH médio de superfície para cada espécie. ....	24
<b>Figura 4.2.</b> Ra (a) e Rz (b) médios para os provetes lixados e não lixados das treze espécies, medidos na direcção do fio.....	25
<b>Figura 4.3.</b> Ra (a) e Rz (b) médios para os provetes lixados e não lixados das treze espécies, medidos na direcção perpendicular ao fio. ....	26
<b>Figura 4.4.</b> Ângulos de contacto para cada espécie.....	27
<b>Figura 4.5.</b> Variações de Cor expressa nos parâmetros do sistema CIELab para cada espécie. ....	28
<b>Figura 4.6.</b> Diferença total de cor $\Delta E^*$ , para as espécies de madeira. ....	29
<b>Figura 4.7.</b> pH das extracções para cada espécie. ....	30
<b>Figura 4.8.</b> Espectros de massa MS (a) e MS <sup>2</sup> (b) do pico cromatográfico da Castalagina. ....	32

<b>Figura A2.1.</b> Cinética de variação de pH de superfície para o Carvalho. ....	54
<b>Figura A2.2.</b> Cinética de variação de pH de superfície para o Faia. ....	54
<b>Figura A2.3.</b> Cinética de variação de pH de superfície para o Jatobá. ....	54
<b>Figura A2.4.</b> Cinética de variação de pH de superfície para o Câmbala. ....	54
<b>Figura A2.5.</b> Cinética de variação de pH de superfície para o Mogno. ....	54
<b>Figura A2.6.</b> Cinética de variação de pH de superfície para a Tola. ....	54
<b>Figura A2.7.</b> Cinética de variação de pH de superfície para o Castanho. ....	55
<b>Figura A2.8.</b> Cinética de variação de pH de superfície para o Ipê. ....	55
<b>Figura A2.9.</b> Cinética de variação de pH de superfície para a Sucupira. ....	55
<b>Figura A2.10.</b> Cinética de variação de pH de superfície para a Tatajuba. ....	55
<b>Figura A2.11.</b> Cinética de variação de pH de superfície para o Wengé. ....	55
<b>Figura A2.12.</b> Cinética de variação de pH de superfície para o Mutene. ....	55
<b>Figura A4.1.</b> Variações de cor expressa nas diferenças individuais dos parâmetros do sistema CIELab para cada espécie de madeira. ....	71
<b>Figura A6.1.</b> Cromatograma de “full MS” para o extracto de Faia. ....	74
<b>Figura A6.2.</b> Cromatograma de “full MS” para o extracto de Castanho. ....	74
<b>Figura A6.3.</b> Cromatograma de “full MS” para o extracto de Jatobá. ....	75
<b>Figura A6.4.</b> Cromatograma de “full MS” para o extracto de Wengé. ....	75



## Lista de Tabelas

<b>Tabela 4.1.</b> Massa volúmica e Teor em água para cada espécie.....	23
<b>Tabela 4.2.</b> pH de superfície para cada espécie.....	24
<b>Tabela 4.3.</b> Parâmetros de rugosidade medidos na direcção do fio.....	25
<b>Tabela 4.4.</b> Parâmetros de rugosidade medidos na direcção perpendicular ao fio.....	26
<b>Tabela 4.5.</b> Ângulos de contacto para cada espécie.....	27
<b>Tabela 4.6.</b> pH das extracções para cada espécie.....	30
<b>Tabela 4.7.</b> Parâmetros ( $\lambda$ e Abs) da análise por espectrofotometria UV-Visível.....	31
<b>Tabela 4.8.</b> Dados da análise de HPLC-ESI-MS dos extractáveis do Castanho.....	32
<b>Tabela 4.9.</b> Dados da análise de HPLC-ESI-MS dos extractáveis do Jatobá.....	33
<b>Tabela 4.10.</b> Dados da análise de HPLC-ESI-MS dos extractáveis do Wengé.....	33
<b>Tabela A3.1.</b> Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Afzélia.....	56
<b>Tabela A3.2.</b> Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Afzélia.....	56
<b>Tabela A3.3.</b> Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Carvalho.....	57
<b>Tabela A3.4.</b> Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Carvalho.....	57
<b>Tabela A3.5.</b> Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Faia.....	58
<b>Tabela A3.6.</b> Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Faia.....	58
<b>Tabela A3.7.</b> Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Jatobá.....	59
<b>Tabela A3.8.</b> Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Jatobá.....	59
<b>Tabela A3.9.</b> Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Câmbala.....	60
<b>Tabela A3.10.</b> Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Câmbala.....	60
<b>Tabela A3.11.</b> Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Mogno.....	61
<b>Tabela A3.12.</b> Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Mogno.....	61
<b>Tabela A3.13.</b> Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Tola.....	62
<b>Tabela A3.14.</b> Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Tola.....	62
<b>Tabela A3.15.</b> Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Castanho.....	63
<b>Tabela A3.16.</b> Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Castanho.....	63

<b>Tabela A3.17.</b> Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Ipê.....	64
<b>Tabela A3.18.</b> Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Ipê. ....	64
<b>Tabela A3.19.</b> Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Sucupira.....	65
<b>Tabela A3.20.</b> Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Sucupira. ....	65
<b>Tabela A3.21.</b> Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Tatajuba.....	66
<b>Tabela A3.22.</b> Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Tatajuba. ....	66
<b>Tabela A3.23.</b> Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Wengé. ....	67
<b>Tabela A3.24.</b> Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Wengé. ....	67
<b>Tabela A3.25.</b> Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Mutene.....	68
<b>Tabela A3.26.</b> Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Mutene. ....	68
<b>Tabela A4.1.</b> Parâmetros colorimétricos médios nas 3 fases do ensaio. ....	69
<b>Tabela A4.2.</b> Variação dos parâmetros colorimétricos médios nas 3 fases do ensaio.....	70
<b>Tabela A4.3.</b> Diferença de cor média para as espécies estudadas. ....	72
<b>Tabela A5.1.</b> Parâmetros lidos ( $\lambda$ e Abs) da análise por espectrofotometria UV-Visível.....	73

## Notação e Glossário

L	Líquido	
$a^*$	Coordenada cromática	
$\Delta a^*$	Relação vermelho-Verde	
$b^*$	Coordenada cromática	
$\Delta b^*$	Relação Amarelo-Azul	
$\Delta E^*$	Diferença total de cor	
$L^*$	Luminosidade	
$\Delta L^*$	Diferença de luminosidade	
H	Teor em água	%
lm	Comprimento de cálculo	
$m_H$	Massa do provete	g
$m_1$	Massa do provete húmido	g
$m_2$	Massa da provete seco	g
r	Altura do perfil de rugosidade	
Ra	Rugosidade média aritmética	$\mu\text{m}$
Rz	Média das alturas máximas no perfil de rugosidade	$\mu\text{m}$
S	Sólido	
V	Vapor	
$V_H$	Volume do provete	$\text{cm}^3$
$x$	Coordenada na direcção do movimento do rugosímetro	
Z	Altura do perfil traçado	
$Z_i$	Rugosidade parcial	

### Letras gregas

$\gamma_{LV}$	Energia livre da superfície do líquido	
$\gamma_{SV}$	Energia livre de superfície do sólido em presença do vapor do líquido	
$\gamma_{SL}$	Energia livre interfacial sólido/líquido	
$\lambda$	Comprimento de onda	nm
$\theta$	Ângulo de contacto	°
$\theta_o$	Ângulo de contacto teórico	°
$\theta_x$	Ângulo de contacto medido na direcção do fio	°
$\theta_y$	Ângulo de contacto medido na direcção perpendicular ao fio	°

### Índices

$i$	índice ou contador
-----	--------------------

### Lista de Siglas

Abs	Absorvância
Afz	Afzélia
Câm	Câmbala
Car	Carvalho
Cas	Castanho
Fai	Faia
Ipê	Ipê

Jat	Jatobá
Mog	Mogno
Mut	
RCP	Rede de Competência em Polímeros
Tat	Tatajuba
Tol	Tola
Suc	Sucupira
Wen	Wengé
CIELab	Sistema Colorimétrico

# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento e Apresentação do Projecto

O acabamento da madeira que realça e valoriza as características mais atractivas do material, é uma técnica/arte baseada num conhecimento intrínseco tanto dos materiais de acabamento como das propriedades características da madeira (Carter, 1956).

A legislação ambiental, a nível Europeu, implica a diminuição de Compostos Orgânicos Voláteis (COV's) e estando os consumidores e as empresas cada vez mais atentas aos problemas ambientais, estas estudam e alteram os seus produtos e processos produtivos no sentido da melhoria contínua e da diminuição das emissões gasosas.

A CIN – Corporação Industrial do Norte, S.A., líder ibérica da produção de tintas e vernizes, atenta às questões ambientais, em parceria com o Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), apoiou o estudo da caracterização das madeiras exóticas para aplicação de vernizes aquosos.

O principal objectivo deste trabalho é estudar as características da superfície das madeiras exóticas que podem afectar o acabamento final com vernizes de base aquosa. Para caracterizar a superfície devem ser avaliados os seguintes parâmetros: densidade, teor em água, pH da superfície, rugosidade com e sem lixagem, molhabilidade, variações de cor e extractáveis solúveis em água.

## 1.2 Contributos do Trabalho

O facto de haver poucos dados de literatura relativos à caracterização das espécies exóticas no que diz respeito às propriedades de superfície deste estudo que influenciam o acabamento, exigiu um maior esforço na pesquisa de informação.

Este trabalho permite à empresa estudar a aplicação de vernizes aquosos na madeira, diminuindo provavelmente custos de processo (laboratoriais, produtivos, etc.) bem como contribuir para o ambiente, (diminuindo a toxicidade), para a segurança e bem-estar das pessoas.

## 1.3 Organização da Tese

Este documento da tese está estruturado em seis capítulos.

Antes da apresentação da estrutura da tese, o capítulo 1 enuncia uma breve justificação de interesse do projecto e estabelece os objectivos.

O capítulo 2 visa particularmente um enquadramento teórico, onde se revê o “estado da arte” dos temas envolvidos no estudo em particular a essência da madeira, as espécies estudadas e as propriedades de superfície da madeira.

O capítulo 3 refere a descrição técnica, onde são caracterizados os materiais e equipamentos utilizados, bem como os métodos e procedimentos adoptados.

No capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados face aos objectivos definidos.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões.

O capítulo 6 visa uma avaliação de todo o trabalho realizado e enunciam-se alguns aspectos a aprofundar em possíveis investigações futuras.

Nos anexos encontram-se as fichas técnicas das madeiras e resultados experimentais das diferentes características.

## 2 Estado da Arte

### 2.1 O Acabamento

O acabamento superficial da madeira tem como função proteger a superfície de exposições a vários tipos de agressividade (luz solar, água, produtos químicos diversos), aumentar a durabilidade quanto possível, enaltecer o seu aspecto decorativo e dar-lhe uma bela aparência (Carvalho 1996). O acabamento compreende duas fases importantes: a preparação da superfície para a recepção dos produtos de revestimento e a aplicação dos produtos de protecção. A selecção do acabamento depende da qualidade e do grau de protecção desejado, das espécies de madeira e suas características bem como dos diferentes métodos de aplicação.

O estado da superfície da madeira é por vezes a causa dos defeitos encontrados no acabamento final, expressos nas irregularidades e dificuldades na formação do filme de protecção que os produtos de revestimento devem constituir. Assim, pode acontecer que um produto de excelente qualidade conduza a insucessos se a superfície do substrato não se apresentar em boas condições.

A madeira é um material complexo com uma vasta gama de características (anatômicas, físicas e químicas) que variam consideravelmente, não só entre diferentes espécies, mas também dentro da mesma espécie e com as condições de crescimento. Um certo número de factores intrínsecos do material tais como densidade, humidade, textura, rugosidade, extractáveis, nós e outros defeitos tem grande influência sobre a duração dos produtos de revestimento.

### 2.2 A Madeira

A madeira não é somente o mais belo e versátil dos materiais naturais, mas também um que possui maior variabilidade. As suas propriedades variam muito de espécie para espécie e, dentro de cada espécie de região para região, inclusive de uma parte da árvore a outra.

A madeira é, segundo Coelho et al (2007), um polímero heterogéneo complexo composto por celulose, hemiceluloses e lenhina. Como consequência da sua origem biológica, é um material orgânico, anisotrópico, heterogéneo e de estrutura celular complexa, que enquanto constituinte da árvore em pé, desempenha funções estruturais de transporte de seiva, de transformação e de armazenamento de produtos da fotossíntese.

### 2.2.1 Estrutura Microscópica

Conforme Gallego, botanicamente, as espécies vegetais pertencem a dois grandes grupos: as Gimnospérmicas e as Angiospérmicas, usualmente referenciadas como **resinosas** e **folhosas**, respectivamente. As madeiras provenientes das árvores **coníferas ou resinosas** são mais macias e de crescimento rápido. As folhas são em forma de agulha e mantêm-se verdes todo o ano (Pinheiros, Cedros, etc). As fibras são essencialmente do tipo traqueídeos (tubulares de secção rectangular com abertura nas extremidades) e distribuem-se em anéis correspondentes aos ciclos anuais de crescimento. O seu eixo longitudinal é paralelo ao tronco da árvore. As madeiras provenientes de árvores **folhosas** são duras e de crescimento lento. Uma das suas características mais perceptível é a folhagem larga e achatada, com tendência a cair no Outono (Ipê, Carvalho, Castanho, Faia, Jatobá, Câmbala, etc). As folhosas têm um tecido celular formado por células do fibrotraqueídeos (em que as paredes são mais espessas, mais curtas e delgadas do que os traqueídeos das madeiras resinosas). Estas constituem cerca de 50% do volume total da madeira.

As resinosas e folhosas são plantas que não diferem fundamentalmente na estrutura anatómica do seu tecido essencial – o lenho. Segundo Carvalho (1996), a madeira é a dimensão material do lenho ou xilema sendo este um agregado de células lenhosas, arquitectónica e harmoniosamente organizadas, para o desempenho de funções vitais: de transporte, de suporte e de armazenamento.

As fibras desenvolvidas no início de cada ciclo anual de crescimento denominam-se de madeira de Primavera ou lenho inicial. Quando as fibras se desenvolvem no final de cada ciclo são designadas de madeira de Verão ou Outono, ou lenho final.

### 2.2.2 Composição Química

As características anatómicas e químicas são os factores determinantes das propriedades globais da madeira como um material e que a distinguem de outros produtos poliméricos. Diferentes combinações de estruturas celulares e composição química resultam da genética e do ambiente, sendo responsáveis pela variabilidade entre espécies e dentro da mesma espécie (Marques, 2006). A madeira de folhosas apresenta maior quantidade de polissacarídeos e extractáveis em relação às resinosas, e estas, por sua vez, possuem teores de lenhina mais elevados.

Os principais elementos constituintes da madeira são o Carbono (49 – 50%), o Oxigénio (44 – 45%), o Hidrogénio (6%) e o Azoto (0,1 – 1%). Além destes, encontram-se pequenas quantidades de Cálcio, Potássio, Magnésio e outros, constituindo as substâncias minerais existentes na madeira.

Os componentes da madeira devem ser distinguidos entre substâncias macromoleculares, constituintes da parede celular (celulose, hemiceluloses e lenhina), responsáveis pelas propriedades físicas e químicas; e substâncias de baixo peso molecular (extractáveis e matéria mineral) (Fengel e Wegener, 1989).



A **celulose** é o componente maioritário da madeira, perfazendo aproximadamente metade das madeiras folhosas e resinosas. Pode ser brevemente caracterizada como um polímero linear de alto peso molecular, constituindo exclusivamente por  $\beta$ -D-glucose e insolúvel em água.

Devido às suas propriedades químicas e físicas, bem como à sua estrutura supramolecular, preenche a sua função como principal polissacarídeo da parede celular dos vegetais.

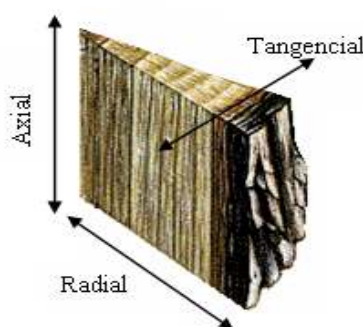
As **hemiceluloses** são polímeros amorfos ramificados, classificados de acordo com os principais açúcares presentes na cadeia. A sua função é de ligante da celulose com função estrutural. As hemiceluloses mais importantes são as “xilanas” e as “glucomananas” (Fengel e Wegener, 1989 e Carvalho, 1996).

A **lenhina** é um polímero tridimensional composto por unidades de fenilpropano. É uma substância amorfa, pouco higroscópica e que confere grande rigidez e resistência à parede celular (Carvalho, 1996).

Os componentes de baixo peso molecular, responsáveis por certas propriedades da madeira como cheiro, gosto, cor, podem ser divididos em material orgânico chamado de extractáveis e inorgânico, a que vulgarmente se atribui o nome de cinzas. Os **extractáveis** são facilmente solúveis e podem ser removidos da madeira, sem alteração apreciável das características estruturais das células, com solventes adequados. Segundo Fengel e Wegener, apesar destes contribuírem com uma pequena percentagem para a massa da madeira têm grande influência nas propriedades e qualidade de processamento da madeira.

### 2.2.3 Estrutura Macroscópica

O aspecto da madeira varia de acordo com a face observada, uma vez que se trata de um material heterogéneo (constituído por células dispostas e organizadas em diferentes secções) e anisotrópico, isto é, os seus constituintes celulares estão orientados em 3 direcções principais: direcção axial ou longitudinal (direcção das fibras), direcção radial (perpendicular à direcção axial) e direcção tangencial (perpendicular às duas anteriores) (Figura 2.1).

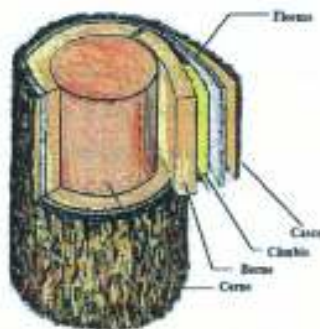


**Figura 2.1.** Principais direcções de anisotropia (Coelho, 2005).

Examinando um corte transversal do tronco de uma árvore (Figura 2.2) pode-se observar as regiões importantes da estrutura em camadas:

- a. Casca exterior, formada por tecido morto e seco, protege a árvore do meio exterior;

- b. Casca interior, húmida e macia transporta os alimentos desde as folhas até todas as partes em crescimentos na árvore;
- c. Câmbio, camada de tecido entre a casca e o lenho, responsável pela formação das células do lenho e células da casca;
- d. Lenho activo ou borne ou alburno, zona do lenho com cor mais clara, constituída pelas camadas mais exteriores. Este contém algumas células vivas, que armazenam alimentos que transportam a seiva desde as raízes até às folhas;
- e. Lenho inactivo ou cerne, região interior, mais antiga, do tronco da árvore formada por células mortas; as camadas do cerne são geralmente mais escuras que as do borne e dão resistência à árvore;
- f. Medula, tecido macio no centro do tronco da árvore, em volta do qual se realiza o primeiro crescimento da árvore (Smith, 1998 e Marques, 2006).



**Figura 2.2.** Corte transversal do tronco de uma árvore (Marques, 2006).

Os anéis de crescimento são formados pela casca interior e podem classificar-se em: anéis anuais e anéis estacionais (zonas tropicais). Dentro de cada anel de crescimento distingue-se uma zona mais clara correspondente à madeira formada na Primavera (denominada madeira de Primavera para os anéis anuais e de primeiro crescimento para os anéis estacionais) e uma zona de coloração mais escura que corresponde à madeira formada no Verão (madeira de Verão ou de Outono para anéis anuais e de tardia para os anéis estacionais) (Casasús, 1997). As diferenças estruturais entre cada um dos tipos de lenho conferem às camadas diferentes propriedades físicas e mecânicas. A madeira de Verão é normalmente mais densa, menos porosa, mais resistente mecanicamente e mais retráctil que a madeira de Primavera.

O tempo e a durabilidade do acabamento são fortemente influenciados, como consequência das características acima mencionadas.

## 2.3 Espécies estudadas

Para a escolha das espécies de madeira a caracterizar foi tido em consideração alguns aspectos como: o tipo de aplicação (mobiliário, carpintaria, pavimentos, etc), o ambiente em serviço (para interior e/ou

exterior). Após uma pesquisa e contacto com algumas empresas de comercialização de madeiras foi apresentada à empresa CIN uma lista das mais vendidas de entre as quais foram escolhidas as treze espécies a estudar: Afzélia, Carvalho, Faia, Jatobá, Câmbala, Mogno, Tola, Castanho, Ipê, Sucupira, Tatajuba, Wengé e Mutene, cujas fichas técnicas podem ser consultadas no Anexo 1.

## **2.4 Propriedades da Superfície da Madeira**

A superfície da madeira é influenciada pela natureza do polímero, dureza, densidade, textura, rugosidade, extractáveis e humidade. Estas propriedades vão afectar a aplicação dos produtos, a formação do filme e a sua resistência físico-mecânica assim como a sua durabilidade.

### **2.4.1 Massa Volúmica**

O peso específico da celulose, que forma as paredes celulares do lenho das plantas é o mesmo em todas e aproximadamente igual a  $1500\text{kg/m}^3$ . (Carvalho, 1996). As diferenças de densidade verificadas nas diversas madeiras justifica-se pelas diferentes proporções existentes entre a quantidade de membranas celulares e os lumens.

Para Carvalho (1996), atendendo à elevada tendência higroscópica da matéria lenhosa, só se deve estabelecer comparações de densidade quando as amostras apresentam o mesmo teor em água. A massa volúmica das madeiras, consensualmente relativa a 12% de humidade, pode classificar-se em: muito leve, leve, moderadamente pesada, pesada e muito pesada, tendo estes valores de referência diferentes para resinosas e folhosas (Casasús, 1997). A densidade é uma propriedade importante para o acabamento, pois a madeira mais densa incha e retrai mais do que a madeira menos densa. Esta variação dimensional ocorre em resultado do ganho ou perda de humidade e origina tensões no filme de pintura que podem provocar a deterioração prematura do acabamento. Por outro lado, madeiras muito porosas podem absorver demasiado os produtos de acabamento deixando um filme muito fino. Se os poros são grandes e “abertos” (quando não se utilizaram tapa-poros) há tendência para se formarem lacunas ou defeitos como acontece nos Carvalhos.

### **2.4.2 Teor em Água**

A quantidade de humidade da madeira define-se como a quantidade de massa de água na madeira expressa em percentagem de massa anidra. Uma das características próprias da madeira devido à sua natureza polar, é a sua higroscopicidade, pela qual é capaz de absorver ou ceder vapor de água ao meio que a rodeia.

As variações de humidade dão origem a variações dimensionais (retracção e inchamento) que se manifestam sobretudo nas direcções tangencial e radial. Portanto, quanto mais pequenas são as variações a que a madeira está sujeita através de alterações de Humidade relativa do meio ambiente, menor é a

possibilidade de se desenvolverem defeitos na estrutura da madeira e na formação do filme com os produtos de acabamento. Carvalho (1996) afirma que, para os vernizes, a humidade recomendada situa-se entre 13 e 18% para exterior e 8 a 13% para o uso interior. Deve evitar-se uma secagem excessiva (alta temperatura) pois deteriora as superfícies da madeira forçando os extractáveis a difundir para a superfície, reorientando as moléculas da superfície e fechando os microporos maiores das paredes celulares.

### 2.4.3 pH de superfície

O conhecimento do pH da madeira é fundamental para o seu uso eficiente nos processos de colagem e na escolha dos produtos de acabamento que podem ser sensíveis ao pH (Johns et al, 1980). O carácter ácido da superfície pode acelerar a cura dos produtos alcalinos. Contrariamente, uma superfície da madeira alcalina pode também retardar a polimerização normal de um produto de cura ácida, como a ureia-fomaldeído.

Se a madeira não absorve selectivamente nem iões  $H^+$ , nem iões  $OH^-$ , nem electrólitos, deve ter o mesmo pH que a água adsorvida. (Stamm, 1964 e Carvalho, 1990). Todavia, os polímeros que constituem a parede celular, os extractáveis e sais minerais conferem à madeira um forte poder tampão.

Em geral, o pH das espécies de madeira varia de 3,0 a 5,5 (Stamm 1964, citado em Johns et al, 1980). A acidez da madeira e a sua capacidade tampão têm um papel preponderante no comportamento de aderência dos produtos de acabamento. Vários métodos para determinar o pH de superfície da madeira foram propostos como tentativa de corresponder às condições a que a madeira será usada. Stamm (1961) propôs um método que consiste na utilização de um eléctrodo de superfície.

### 2.4.4 Rugosidade

A caracterização objectiva da superfície da madeira pode ser quantificada através da rugosidade antes e depois do tratamento da superfície.

A determinação desta propriedade é uma tarefa complexa, pois está intimamente relacionada com a estrutura celular da madeira e depende do processo de maquinação (corte, lixagem, etc) (Malkoçoğlu, 2007). Industrialmente, quase todas as superfícies técnicas são obtidas por maquinação e não possuem uma forma geométrica exacta. Qualquer que seja o processo de corte, este deixa sempre as suas “impressões” e, por maior controlo que se exerça sobre os parâmetros de maquinação, não é possível obter uma superfície perfeita (Davim, 1995). Diversas técnicas têm sido aplicadas para avaliar a rugosidade da madeira, principalmente rugosímetros que funcionam por contacto (palpação, pneumáticos, emissão acústica) ou sem contacto (ópticos), tendo cada um as suas vantagens e inconvenientes. (Lemaster e Dornfed, 1995; Coelho, 2005). Hoje em dia, Jakula et al refere que a técnica de palpação (“stylus”) é a mais habitualmente utilizada para avaliar a rugosidade, que mede mecanicamente o perfil de superfície ao longo de uma linha numa pequena área da superfície.

A rugosidade representa as irregularidades mais finas da textura da superfície que resultam habitualmente da acção inerente ao processo de maquinação ou ao estado do substrato.

Para Jakula et al (2005), a classificação da madeira em suave e rugosa é subjectiva e vaga, quando não quantificada. Assim, a quantificação numérica através dos parâmetros de rugosidade é útil como forma de ajustar variáveis do processo ou monitorizar tarefas e máquinas. Também, os processos de lixagem são bem caracterizados pelos parâmetros de rugosidade, pois o tamanho do grão cria irregularidades consideráveis (Gurau et al, 2005).

Neste trabalho, já que se analisa a superfície de um material celular natural, privilegiaram-se os parâmetros de amplitude (avaliam a evolução vertical do perfil) preterindo os de espaçamento (avaliam a evolução horizontal do perfil) e os híbridos (definidos a partir dos dois tipos de evolução).

### Parâmetros de Rugosidade

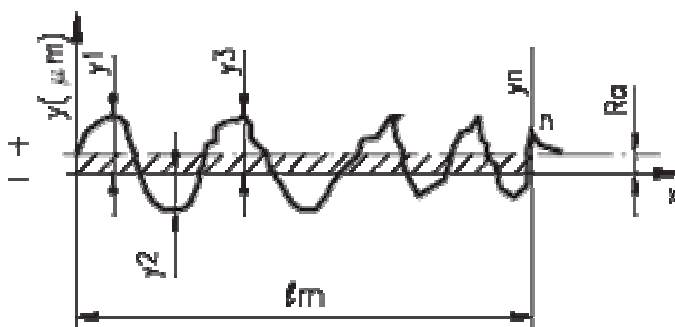
#### *Rugosidade média aritmética (Ra)*

Define-se como a média aritmética dos valores absolutos de rugosidade em relação à linha média no comprimento de cálculo ( $\ell_m$ ) (Figura 2.3). Ao definir-se a função  $r(x)$  como sendo a distância entre cada ponto do perfil e a linha média no comprimento de cálculo tem-se:

$$Ra = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} \quad (2.1)$$

$$e \quad Ra = \frac{1}{\ell_m} \int_0^{\ell_m} |r(x)| dx \quad (2.2)$$

em que:  $\ell_m$  é o comprimento de cálculo,  $r$  é a altura do perfil de rugosidade e  $x$  a coordenada na direcção do movimento do rugosímetro.



**Figura 2.3.** Rugosidade média aritmética (Coelho, 2005).

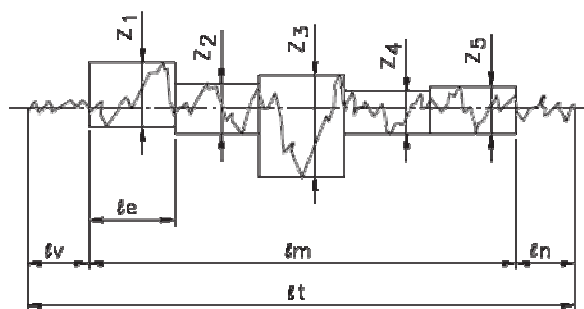
Este é o critério mais utilizado para a caracterização da rugosidade das superfícies técnicas, principalmente pela simplicidade da sua definição, pela relativa insensibilidade à presença de picos e vales aberrantes e, normalmente, todos os equipamentos de medida o fornecem.

#### *Média das alturas máximas no perfil de rugosidade (Rz)*

Corresponde à média aritmética de cinco valores de rugosidade parcial medidos ao longo do comprimento de avaliação. A rugosidade parcial ( $Z_i$ ) é a soma dos valores absolutos das ordenadas dos pontos mais

afastados, existente ao longo do comprimento de base (*cut off*). Através da representação gráfica do perfil (ver Figura 2.4) pode-se ver que este valor corresponde à altura entre os pontos máximo e mínimo do perfil, ao longo do comprimento de base ( $l_e$ ).

$$R_z = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5}{5} \quad (2.3)$$



**Figura 2.4.** Rugosidade parcial  $Z_i$  para definir  $R_z$  (Coelho, 2005).

sendo  $Z$  a altura do perfil traçado. Este parâmetro informa sobre a distribuição média da superfície vertical. É fácil de obter através de equipamentos de medida que fornecem os respectivos gráficos.

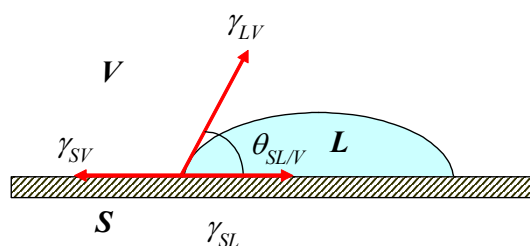
Assim, a rugosidade da superfície da madeira tem um efeito importante na selecção, aplicação e vida em serviço dos acabamentos. A pintura adere melhor, a formação do filme e a longevidade é maior numa superfície rugosa do que numa lisa (aplainada), particularmente quando é usada madeira de anel deitado (Williams, 1987).

#### 2.4.5 Molhabilidade

O fenómeno da molhabilidade está relacionado com as manifestações macroscópicas de interações moleculares entre sólidos e líquidos em contacto (Berg, 1993). Estas manifestações implicam a formação de um ângulo de contacto na interface sólido/líquido/gás, o espalhamento do líquido sobre a superfície do sólido e a penetração na superfície porosa do mesmo. A molhabilidade pode ser caracterizada utilizando parâmetros termodinâmicos como os ângulos de contacto, a energia livre de superfície e o trabalho de adesão (Wålinder, 2000 e Wålinder, 2002).

Para uma melhor compreensão do fenómeno da molhabilidade é necessário incidir sobre a natureza das forças intermoleculares. As teorias sobre estas interações podem ser encontradas em Lee (1991), Mittal (1993), Good (1993), Berg (1993) e Van Oss (1994).

O ângulo de contacto de um líquido sobre a superfície de um sólido é geralmente considerado como um método conveniente de medida da molhabilidade (Carvalho, 1990). A relação que descreve a forma da gota de um líquido sobre a superfície de um sólido em presença de vapor desse líquido, foi introduzida por Young. O modelo de Young exprime o balanço das tensões superficiais (energias livres de superfície) para um gota em equilíbrio, Figura 2.5 (Mantanis e Young, 1997).



$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos \theta \quad (2.4)$$

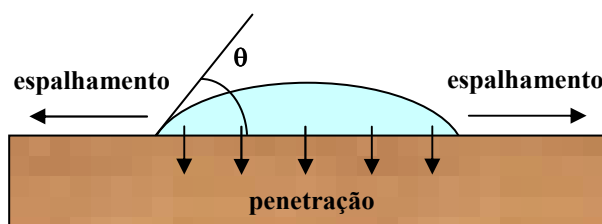
**Figura 2.5.** Modelo de Young.

onde:  $\gamma_{SV}$  é a energia livre de superfície do sólido em presença do vapor do líquido,  $\gamma_{LV}$  a energia livre de superfície do líquido e  $\gamma_{SL}$  corresponde à energia livre interfacial sólido/líquido.

Na prática  $0 < \theta < 180^\circ$ , e considera-se que o líquido não tem tendência a molhar a superfície do sólido se  $\theta > 90^\circ$ . Se a molhabilidade for completa,  $\theta = 0^\circ$ .

Para os líquidos, a energia livre de superfície ou tensão superficial é directamente mensurável por tensiometria. Contudo, nos sólidos a ausência de molhabilidade não permite a sua medição directa. Assim, diversas interpretações do fenómeno da molhabilidade deram origem a diferentes métodos de avaliação da tensão superficial da madeira (Wålinder, 2002 e Gindl, et al 2004). O método mais utilizado é o de Lifshitz – van der Waals ácido base, que foi pela primeira vez aplicado por Gardner (1996). Este método, desenvolvido por van Oss, Chaudhury and Good (1987), baseia-se no conceito ácido-base de Lewis e divide as forças intermoleculares em: forças de “Lifshitz – van der Waals” (LW) e interações ácido-base (AB).

No processo de molhabilidade de um sólido poroso e heterogéneo (madeira) por um líquido, a variação do ângulo de contacto com o tempo é uma função decrescente. Quando a gota é depositada sobre a superfície porosa ocorre simultaneamente espalhamento e penetração do líquido (Figura 2.6). Inicialmente, o ângulo de contacto diminui rapidamente (fase de espalhamento), mas à medida que o tempo passa, o ângulo diminui mais lentamente (fase de difusão). O estado de equilíbrio líquido/sólido é definido na transição entre a fase de espalhamento e a de difusão. Na primeira fase, o espalhamento é privilegiado e a gota que está sobre a superfície aumenta o seu diâmetro, enquanto que na segunda fase o diâmetro mantém-se e a sua altura diminui (Shi e Gardner, 2001).



**Figura 2.6.** Processo de molhabilidade de um líquido sobre a superfície da madeira (adaptado de Shi e Gardner, 2001).

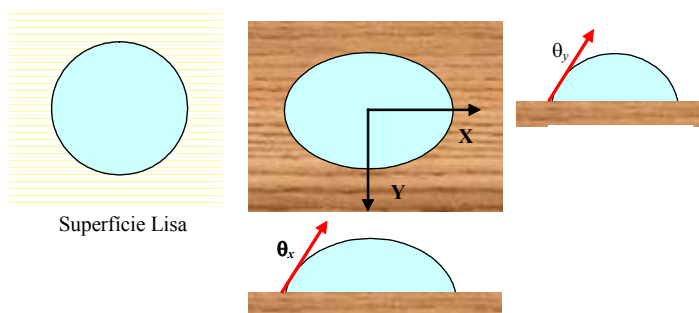
O modelo de Young foi estabelecido para superfícies limpas e perfeitamente planas. Contudo, a superfície da madeira apresenta uma certa rugosidade inerente à sua estrutura e anatomia. É também, um sólido poroso e heterogêneo.

Wenzel (1936) mostrou que para um sólido poroso, o ângulo de contacto real  $\theta_r$  do líquido sobre o sólido está relacionado com o ângulo de contacto teórico (ou intrínseco)  $\theta_o$  através da relação:

$$r = \frac{\cos \theta_r}{\cos \theta_o} \quad (2.5)$$

na qual  $r$  é o factor de rugosidade que representa a razão entre a área da interface sólido/líquido real e a área aparente (geométrica) desta interface. Para uma superfície lisa,  $r=1$  e para uma superfície rugosa  $r>1$ . Assim, se  $\theta \leq 90^\circ$ , o líquido penetra no sólido e vai preencher os espaços vazios, conduzindo à formação de uma interface que pertence ao sólido mas também ao líquido e, portanto, o ângulo de contacto vai diminuir. Se  $\theta \geq 90^\circ$ , o líquido não tem tendência a penetrar nos espaços vazios e o ângulo de contacto será formado numa superfície composta por ar/sólido e portanto vai aumentar (Carvalho, 1990).

A madeira apresenta uma rugosidade orientada, podendo falar-se em anisotropia do ângulo de contacto. Deste modo, o espalhamento segundo o fio da madeira é privilegiado e a gota toma uma forma elíptica (Figura 2.7). Rosumek (1983) mostrou que  $\theta_x$  não sofre a influência da rugosidade do substrato e, portanto, a medição de  $\theta_x$  dará uma medição do ângulo de contacto intrínseco líquido/madeira.



**Figura 2.7.** Anisotropia do ângulo de contacto da madeira.

O método da gota (*Sessile Drop Method*) é um dos mais utilizados para medir a molhabilidade da madeira, considerando as medições directas do perfil da gota depositada sobre uma superfície horizontal ou inclinada (citado por Coelho, 2005).

A molhabilidade da madeira depende de vários factores: espécie de madeira, extractáveis presentes na madeira, anatomia da madeira, secagem da madeira, teor em água, temperatura e rugosidade da superfície (Wang et al, 2007).



Assim, um conhecimento profundo do fenómeno de molhabilidade na madeira é importante para melhorar a interacção entre a madeira e os produtos de acabamento. A deterioração física, provocada por exemplo por uma secagem excessiva (oxidação da superfície, perda de resistência das fibras na superfície, etc.) pode também conduzir a uma diminuição da tensão superficial da madeira e consequentemente a uma diminuição da molhabilidade.

#### 2.4.6 Cor

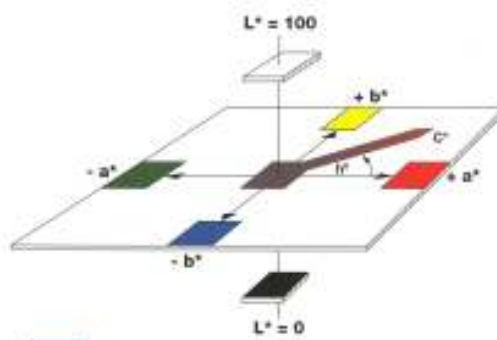
A cor tem sido considerada como um índice de classificação e qualidade da madeira. Esta característica que também é sujeita a variações, constitui uma das principais características da madeira e é, igualmente um importante factor usado na identificação das espécies, além de lhe adicionar valor estético. Segundo Desh e Dinwoodie (1993), as cores da madeira são causadas pela quantidade de extractáveis (taninos, fenóis e outros) presentes na parede celular do cerne, que faz com que a madeira, quando exposta à luz, ar, calor, ou mesmo ao longo do tempo, escureça ou fique mais clara alterando a sua cor. Assim, a cor da madeira do cerne é geralmente mais escura que a madeira do borne. A cor pode ser alterada devido ao teor de água da madeira, temperatura, degradações, reacções fotoquímicas dos elementos químicos presentes na sua estrutura, anatomia, método de abate da árvore, idade e factores ecológicos.

As características gerais (textura, grão e desenho) e os seus planos de orientação (transversal, longitudinal, tangencial e radial) influenciam directamente a cor da madeira. Através de um estudo sobre a superfície da madeira, Camargos (1999) observou que diferentes cores entre três estados de superfície (serrada, aplainada e lixada) foram pouco importantes nos seus valores absolutos, porém significativos a olho nu. As diferenças de cores encontradas não foram devido à rugosidade da superfície, mas, sim, dos efeitos secundários da preparação da superfície da peça.

A **colorimetria** permite descrever cada elemento da composição de uma cor numericamente por meio de um aparelho apropriado.

Um dos sistemas mais utilizados para medição de cores é o **CIELab**, que é obtido através das coordenadas cromáticas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ . Este sistema baseia-se nos parâmetros: claridade ou luminosidade, tonalidade ou matiz e saturação ou cromaticidade (Camargos, 1999).

A luminosidade define a escala cinza entre o branco e o preto. É expressa pela variável  $L^*$  e assume valor 0 para o preto absoluto e 100 para o branco total. A tonalidade é expressa pelas cores primárias vermelho, verde, amarelo e azul, sendo representada por um plano constituído por duas rectas  $a^*$  e  $b^*$  perpendiculares que passam pelo centro. O sistema CIELab (Figura 2.8) define ainda as coordenadas cromáticas:  $+a^*$  para vermelho,  $-a^*$  para verde,  $+b^*$  para amarelo e  $-b^*$  para azul (Oltean, 2007). O ângulo da tinta ( $h$ ) é o ângulo do círculo, derivado dos valores de  $a^*$  e  $b^*$ , variando entre 0 a 60. A saturação ou cromaticidade ( $C$ ) é o desvio a partir do ponto correspondente ao cinza no eixo  $L^*$  (luminosidade).



**Figura 2.8.** Representação do sistema de cor CIELab

$\Delta E^*$  é a diferença ou desvio total de cor entre a amostra e o padrão, determinada pela seguinte expressão:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2.6)$$

onde  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  e  $\Delta b^*$  são as diferenças individuais entre os valores das coordenadas da amostra e do padrão de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , respectivamente. Considera-se que um desvio de cor é perceptível quando  $\Delta E^* > 1$ .

#### 2.4.7 Extractáveis

Os extractáveis são frequentemente responsáveis por determinadas características da madeira como cor, cheiro, resistência natural ao apodrecimento, gosto e propriedades abrasivas. A sua composição e quantidade relativa dependem de diversos factores: espécie, idade, região de proveniência etc.

O vasto grupo dos compostos orgânicos da madeira integra: terpenos (que podem ser derivados do isopreno), ácidos alifáticos, álcoois (alifáticos e aromáticos), componentes mono e dissacarídeos, compostos aromáticos (fenólicos) em que os mais importantes são os taninos, e outros. A maior parte dos extractáveis da madeira podem ser extraídos com solventes orgânicos ou água. Extractáveis do tipo ácidos resínicos, gordos, compostos fenólicos e terpenos podem ser extraídos com solventes como etanol, acetona e diclorometano. Os hidratos de carbono, polissacarídeos, açúcares simples, taninos e sais inorgânicos podem ser extraídos com água (Wålinder e Johansson, 2001). Taninos são compostos polifenólicos complexos, solúveis em água. Podem ser classificados em dois grupos: taninos hidrolizáveis e taninos condensáveis ou procianidinas. Os taninos hidrolizáveis são constituídos por uma molécula de açúcar (normalmente glucose) esterificada com ácido gálico ou com ácido hexahidroxidifenílico. Estes compostos são facilmente hidrolizáveis por via enzimática ou em condições ácidas ou básicas, originando ácido gálico ou seus derivados (Galotaninos) ou ácido elágico (Elagitaninos), como por exemplo vescalagina e castalagina já encontrados no Carvalho e Castanho (Nonier et al, 2005 e Vivas et al, 1996). As procianidinas ou taninos condensados são compostos oligoméricos e poliméricos de 3-flavanóis (catequina) e 3,4-flavandióis (leucoantocianidinas).

### 3 Descrição Técnica

As espécies de madeira exóticas e nacionais: Afzélia, Carvalho, Faia, Jatobá, Câmbala, Mogno, Tola, Castanho, Ipê, Sucupira, Tatajuba, Wengé e Mutene, foram adquiridas pela CIN em placas de dimensões (300 × 200 × 10 mm). Alguns provetes sofreram tratamento como lixagem e extracção com água. Posteriormente, realizaram-se os seguintes ensaios:

#### 3.1 Determinação da Massa Volúmica

A massa volúmica é uma propriedade da madeira com uma grande variabilidade já que varia entre espécies, entre árvores, e com o interior da árvore (Dupont, 1983).

A massa volúmica das espécies estudadas foi determinada com base no procedimento da norma NP 616 em que se realizou dois ensaios com provetes de dimensões (60 × 20 × 10 mm). Os provetes foram pesados numa balança analítica *KERN ABJ* e as dimensões avaliadas com um paquímetro.

De acordo com a norma, define-se massa volúmica a um dado teor em água de um provete de madeira, como sendo o quociente da massa do provete pelo seu volume, ambos os valores determinados com o provete a H% de teor em água. Deste modo, a massa volúmica a H% de teor em água em gramas por centímetro cúbico é:

$$\rho_H = \frac{m_H}{V_H} \quad (3.1)$$

em que  $m_H$  é a massa do provete, expressa em gramas e  $V_H$  é o volume do provete, em centímetros cúbicos.

#### 3.2 Determinação do Teor em Água

A madeira sendo material higroscópico, a humidade afecta as suas propriedades físicas e mecânicas.

Por definição, teor em água é o quociente, expresso em percentagem, da massa de água que se evapora do material por secagem a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  até massa constante, pela massa do provete depois de seco (NP 614):

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (3.2)$$

onde  $m_1$  é a massa do provete húmido, expressa em grama e  $m_2$  a massa do provete seco, em gramas.

Com base na norma NP 614, e com os mesmos provetes utilizados na determinação da massa volúmica, avaliou-se o teor em água das amostras, que foram previamente acondicionadas no ambiente do laboratório (temperatura=  $20^\circ\text{C}$  e humidade relativa= 72%). Estas depois de medidas e pesadas foram

colocadas numa estufa *Scientific Series 2000* à temperatura, já referida, de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , até massa constante (24 horas), a fim de se obter os provetes de madeira anidros.

### 3.3 Determinação do pH de superfície

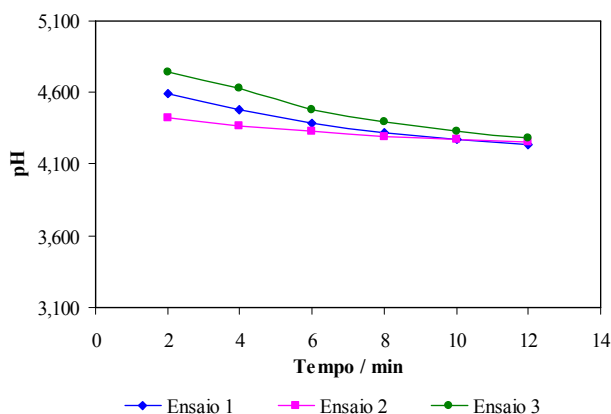
A determinação do pH é muito importante para uma utilização correcta da madeira e para a qualidade dos processos de colagem e acabamento.

O pH foi medido com base no **método do eléctrodo de superfície** que consiste na utilização de um eléctrodo de superfície, em que a madeira é estabilizada ao ar: a extremidade plana do eléctrodo é posta em contacto com o provete de madeira numa zona em que se depositou uma gota de água.

Neste trabalho foi usado um eléctrodo de superfície de pH (*Sentix® Sur, WTW*) conectado a um medidor de pH (*inoLab® pHmeter Level 2, WTW*). Antes de iniciar as medições de pH, o eléctrodo foi calibrado com duas soluções tampão: primeiro, com solução tampão de pH 4,01 (*Technical Buffer pH 4,01; WTW*) e segundo, com solução tampão pH 10,00 (*Technical Buffer pH 10,00; WTW*) e esperou-se até o valor dado pelo aparelho estabilizar. Feita a calibração e após lavagem do eléctrodo com água destilada, o aparelho estava em condições de efectuar as leituras de pH.

#### Aplicação do método

Depositou-se uma gota de 0,1 mL de água destilada sobre a superfície plana da madeira (para cada espécie utilizou-se uma amostra de dimensões  $150 \times 200 \times 10$  mm). De seguida, colocou-se o eléctrodo em contacto com a madeira na zona molhada, fazendo este um ângulo recto com a superfície. As medições foram efectuadas assim que o aparelho estabilizou (cerca de 50 segundos) e antes que a difusão da água provocasse variações de pH importantes. Por esta razão, as leituras foram efectuadas ao fim de 2 min (tempo decorrido entre o momento em que o eléctrodo foi posto em contacto com a madeira e a leitura de pH). Repetiu-se estas operações três vezes e considerou-se como resultado final a média dos valores de pH dos três ensaios. Para analisar a cinética da variação do pH, de cada espécie estudada, representou-se graficamente a evolução do pH ao longo do tempo (10 min). A Figura 3.1 exemplifica essa variação para a espécie Afzélia (ver no Anexo 2, as restantes espécies).



**Figura 3.1.** Exemplo da cinética de variação de pH de superfície para a Afzélia.

Da análise da Figura 3.1 verifica-se que os valores lidos pelo medidor de pH mostram um ligeiro decréscimo em função do tempo, com alguma tendência para estabilizar (ver o comportamento das outras espécies no Anexo 2). À medida que a água desaparece a solução fica mais concentrada em iões  $H^+$ . O desaparecimento da água da interface eléctrodo/madeira é devido sobretudo à difusão da água mas também à evaporação. O pH diminui até ao momento em que o eléctrodo deixa de estar em contacto com a madeira e fica em equilíbrio com o ar. Isto pode explicar a tendência das curvas de equilíbrio pH água/ar ao longo do tempo.

### 3.4 Avaliação do estado da superfície – Rugosidade

A caracterização objectiva da superfície da madeira pode ser quantificada pela rugosidade. A determinação desta propriedade na madeira é bastante difícil, pois depende, por vezes, da estrutura celular do material e das operações a que foi sujeita para se obter a superfície, nomeadamente corte, aplainamento e lixagem.

O equipamento utilizado para a avaliação do estado da superfície das diversas espécies de madeira foi um rugosímetro *Surftest SJ – 400* da *Mitutoyo*, com capacidade para determinar 36 parâmetros de rugosidade diferentes de acordo com as normas ISO, DIN, ANST e JIS. Pertence à classe dos equipamentos que utilizam o processo de palpação para traçarem os perfis das superfícies. É constituído por uma unidade de comando com uma impressora térmica integrada, uma unidade accionadora e um sensor.

A determinação dos parâmetros de rugosidade,  $R_a$  (rugosidade média aritmética) e  $R_z$  (média das alturas no perfil de rugosidade), das superfícies foi baseada nas especificações da norma ISO 4287 -1997 (com cutt-off de 0,8 mm).

Todas as medições foram executadas da mesma forma e nas mesmas condições, exceptuando os parâmetros manipulados (lixagem), em dois provetes de dimensões (placas de  $300 \times 200 \times 10$  mm) para as treze espécies. Um dos provetes de cada espécie foi lixado paralelamente ao fio, com lixa P220 (*EKAMANT*) nas duas faces de maior área. Em todos as placas (lixadas e não lixadas) foram efectuadas medições ao longo do fio e perpendicular a este, em ambas as faces de maior área (Figura 3.2).



**Figura 3.2.** Medição da rugosidade ao longo do fio (a) e perpendicular ao fio (b), com o rugosímetro SJ – 400 da Mitutoyo

O número de ensaios realizados foi elevado, devido à variabilidade e heterogeneidade da madeira, fazendo-se em média 50 medições por provete de cada espécie. Sendo treze as espécies estudadas e existindo dois provetes para cada (lixado e não lixado) realizou-se na totalidade cerca de 1300 medições dos parâmetros de rugosidade da superfície.

### 3.5 Molhabilidade

A compreensão do fenómeno de molhabilidade da madeira é importante para melhorar a interacção entre a madeira e os produtos de acabamento.

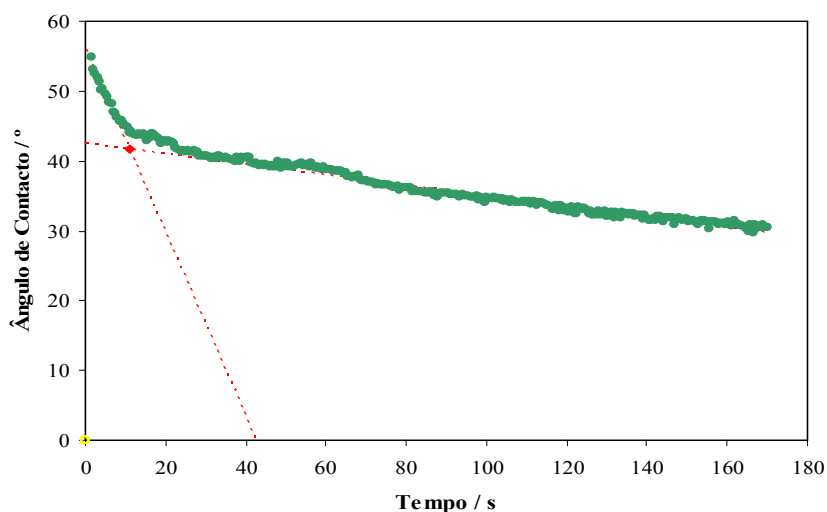
A molhabilidade da madeira foi avaliada através do método da gota (*sessile drop method*). Os ângulos de contacto das gotas depositadas sobre a superfície foram medidos com ajuda de um goniómetro modelo *OCA 20* da *Dataphysics* (ver Figura 3.3), existente no laboratório LEPAE na FEUP, equipado com um sistema de vídeo e software *SCA 20* para aquisição e tratamento de dados e imagens. As condições de realização dos ensaios foram as seguintes: os ângulos de contactos foram medidos pelo método estático (a gota de líquido foi depositada sobre o sólido e mediu-se o ângulo de contacto ao longo do tempo), o líquido de molhagem foi água pura (*Merck*) à temperatura ambiente, a gota aplicada tinha um volume constante de 4  $\mu\text{L}$  medida com seringa (*Hamilton Bonaduz de 500  $\mu\text{L}$* ) e as medições foram realizadas na direcção axial da madeira. Para o conjunto de várias amostras de dimensões (100  $\times$  20  $\times$  10 mm), de cada espécie, mediram-se os ângulos de contacto de 3 gotas de líquido, havendo o cuidado de considerar uma distância suficiente entre as gotas e também os bordos da amostra.

Embora a aquisição de dados tenha sido realizada a uma frequência de duas medições por segundo, verificou-se que para alguns ensaios o sistema não era capaz de calcular o valor do ângulo de contacto devido a variações muito bruscas (que ocorriam, por exemplo, em amostras possivelmente mais porosas), inviabilizando assim todo o ensaio.



**Figura 3.3.** Medidor de ângulos de contacto *OCA 20* da *Dataphysics*.

Para cada ensaio foi registada a variação do ângulo de contacto em função do tempo, verificando-se em alguns casos a dificuldade em atingir o equilíbrio. O ângulo de contacto foi calculado tendo em conta o ponto de intersecção de duas rectas obtidas por ajuste de dados experimentais relativos a cada uma das fases, espalhamento/difusão, em que estes fenómenos se encontravam perfeitamente desenvolvidos (Figura 3.4).



**Figura 3.4.** Exemplo da determinação do ângulo de equilíbrio para amostra de Mogno.

Como para cada amostra se mediram pelo menos 3 gotas de água, foram considerados para cálculos os resultados de 39 ensaios, embora o número de ensaios realizados tenha sido muito superior (130 ensaios, no total), devido a problemas de aquisição (muitos ensaios não foram considerados e/ou a medição directa de ângulos de contacto na madeira ser inerentemente difícil).

### 3.6 Cor

A cor é uma das propriedades ópticas tecnicamente perceptível e mensurável funcionando como índice de qualidade de muitos materiais, incluindo as madeiras.

Com o intuito de analisar a influência que as colorações químicas dos extractáveis solúveis em água causam sobre os revestimentos de vernizes e na superfície da madeira, realizaram-se extracções das diversas espécies de madeira (Figura 3.5). Assim, colocou-se um provete de dimensões ( $30 \times 20 \times 10$  mm) de cada espécie de madeira num frasco de vidro tapado, com 150 mL de água destilada durante uma semana à temperatura ambiente, após o qual foram retirados das soluções coradas e colocados a secar (2 dias) à temperatura ambiente sob a ausência de luz.



**Figura 3.5.** Extracções com água das espécies de madeira.

Deste modo, o controlo colorimétrico das treze espécies de madeira baseado no sistema de cor CIELab foi realizado em 3 fases. **Primeiro**, nas amostras de dimensões ( $300 \times 200 \times 10$  mm), já utilizadas na medição da rugosidade (provetes lixados e não lixados), e numa das faces, realizaram-se 12 medições de cor em zonas diferentes de cada provete, nos sentidos paralelo e perpendicular ao fio da madeira. Existindo dois provetes (lixado e não lixado) para cada espécie de madeira, efectuaram-se na totalidade 312 medições. Na **segunda fase**, executaram-se 4 medições, segundo a direcção paralela e perpendicular às fibras nas duas faces opostas, em cada provete seco, após as extracções (52 medições no total). **Por fim**, analisaram-se as soluções aquosas coradas resultantes das extracções.

As medições, nas duas primeiras etapas (material sólido), exemplificadas na Figura 3.6, foram realizadas utilizando um espectrofotómetro portátil modelo *ColorEye XTH* da *GretagMacbeth* existente no laboratório na FEUP. O tipo de iluminante usado foi o de luz difusa D65, o ângulo de observação de  $10^\circ$  e como padrão utilizou-se o branco fornecido pelo fabricante do aparelho. Os parâmetros colorimétricos determinados foram a Luminosidade  $L^*$ , a coordenada verde-vermelho  $a^*$  e a coordenada amarelo-azul,  $b^*$ .



(a)



(b)

**Figura 3.6.** Medição da cor das amostras antes (a) e depois das extracções, com o espectrofotómetro portátil *ColorEye XTH* da *GretagMacbeth*.

A determinação das coordenadas do espaço CIELab das amostras líquidas foram realizadas no laboratório do Instituto dos Vinhos do Douro e Porto. Procedeu-se à determinação do espectro de transmitância das



soluções aquosas coradas para o espectro visível de luz (380 – 780nm). As leituras foram efectuadas num espectrofotómetro UV-Visible: *Varian CARY 1E* de duplo feixe acoplado a um computador, existente nesse mesmo laboratório. Cada ensaio foi efectuado em duplicado e a leitura da transmitância foi feita em relação à água destilada em células de quartzo de 2mm de percurso óptico e com uma amostragem em cada intervalo de 1nm. Utilizando-se um software específico *Color Calculation* por eles adquirido, obtiveram-se as respectivas coordenadas  $L^* a^* b^*$  para cada extracção com a condição iluminante D65 e um ângulo de observação de 10°.

Em todos os casos foi possível calcular a diferença total de cor  $\Delta E^*$  pelas equações antes referidas.

### 3.7 Extractáveis

Às soluções aquosas coradas dos extractáveis, para além do controlo colorimétrico acima referido, foram ainda realizados as seguintes análises: pH, espectrofotometria UV-Visível e cromatografia líquida associada a espectrometria de massa (LCMS).

#### 3.7.1 Determinação do pH

Com o objectivo de verificar se existia alguma relação entre o pH de superfície da madeira e o pH dos extractáveis solúveis em água, determinou-se o pH das soluções aquosas coradas resultantes das extracções, anteriormente descritas (ver secção 3.6). Para isso utilizou-se um eléctrodo de pH (*Sentix® 81, WTW*), com um sensor de temperatura incorporado, conectado a um medidor de pH (*inoLab® pHmeter Level 2, WTW*). Antes de iniciar as medições o eléctrodo foi calibrado como descrito para o pH de superfície referido na secção 3.3.

#### 3.7.2 Análise por Espectrofotometria UV- Visível

As análises de absorvância das soluções coradas para o espectro ultravioleta-visível de luz (210 – 750nm) foram efectuadas num espectrofotómetro UV-Visível *Jasco V-650* de feixe duplo existente no laboratório da RCP na FEUP. As leituras da absorvância foram feitas considerando como branco a água destilada e em células de quartzo de 10 mm de percurso óptico. As leituras foram realizadas nas soluções originais, mas também para algumas espécies.

Foram realizados ensaios com as soluções originais e outros com diluições em água (50 e 25% de solução), visto que se encontravam mais concentradas.

#### 3.7.3 Identificação de compostos por LCMS

De forma a tentar identificar o tipo de extractáveis que coloriu as extracções das diversas espécies de madeira foram realizadas análises de LCMS no Departamento de Química da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP).

A cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) com detecção UV é frequentemente usada na separação e detecção de componentes fenólicos, principalmente taninos, presentes na madeira. A espectrometria de massa (MS) é usada para uma caracterização clara dos compostos fenólicos, eliminando interferências resultantes da co-eluição de compostos com espectro UV semelhantes. A combinação de HPLC com MS é uma poderosa ferramenta recentemente introduzida na análise de compostos polifenólicos na madeira. Pelo método de ionização ESI são geradas moléculas desprotonadas  $[M - H]^-$  dos compostos analisados em modo de íão negativo para rápida determinação do peso molecular.

A separação cromatográfica em HPLC foi realizada com um equipamento da série *Finnigan Surveyor* numa coluna C18 de fase reversa ( $150 \times 4,6\text{mm i.d.}$ ,  $5\mu\text{m}$ ) *LicroCART*<sup>®</sup> termostaticada a  $25^\circ\text{C}$  em que foram injectados  $25\ \mu\text{L}$  de amostra filtrada ( $0,20\ \mu\text{m}$ ). A fase móvel consistia no solvente A (ácido fórmico/água, 1:99) e no solvente B (ácido acético/água/acetonitrilo, 0,5:19,5:80). A eluição decorreu com um fluxo de  $0,3\ \text{mL/min}$  e segundo um gradiente com condições iniciais de 80% A e 20% B seguido de 30% A e 70% B aos 50 min. Os compostos foram detectados com um detector PDA (Photo Diode Array) na gama 220 -  $750\text{nm}$ .

Quanto à espectrometria de massa, utilizou-se um detector de massa *Finnigan LCQ DECA XP MAX* (Finnigan Corp., San José, Calif., USA) com uma fonte de ionização API (*Atmospheric Pressure Ionization*) usando uma interface ESI (*ElectroSpray Ionization*), que está acoplado ao equipamento anterior. As condições de operação seleccionadas foram: temperatura capilar  $300^\circ\text{C}$ , voltagem capilar 4V e os espectros obtidos em modo de íão negativo no intervalo de  $m/z$  entre 120 e 1000. O espectrómetro de massa foi programado para realizar uma série de três scans: uma análise de massa total (MS), um scan com zoom do íão mais intenso da primeira análise ( $\text{MS}^2$ ) e um scan MS-MS do íão mais intenso usando energias de colisão relativas de 30 e 60% ( $\text{MS}^3$ ).

Todos os dados foram adquiridos e tratados com o software *Xcalibur 1.4*.

Sendo uma técnica recente, demorada e devido à inexistência de uma base de dados optou-se por analisar apenas 4 soluções de colorações diferentes das espécies: Faia, Castanho, Jatobá e Wengé.

## 4 Resultados e Discussão

Os resultados obtidos foram tratados por uma aplicação informática *EXCEL* e por softwares inerentes aos aparelhos utilizados.

### 4.1 Massa Volúmica e Teor em Água

Na Tabela 4.1 apresentam-se os valores da massa volúmica e do respectivo teor em água correspondentes aos dois ensaios realizados. Estes foram determinados com base nos valores experimentais e nas equações (3.1) e (3.2) referidas no capítulo 3. São ainda apresentados valores de massa volúmica a 12% de Humidade retirados da literatura.

**Tabela 4.1.** Massa volúmica e Teor em água para cada espécie.

Espécies de Madeira	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	H (%)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	H (%)	$\rho$ da literatura (kg/m <sup>3</sup> ) a 12% de Humidade
Afzélia	749,22	12,2	741,41	10,7	730 - <u>800</u> - 830 <sup>1;2</sup>
Carvalho	739,87	12,3	736,10	10,3	670 - <u>710</u> - 760 <sup>1</sup>
Faia	629,22	11,4	608,13	9,1	690 - <u>710</u> - 750 <sup>1</sup>
Jatobá	750,77	10,7	750,88	9,2	955 - 970 <sup>1</sup>
Câmbala	494,32	12,1	497,52	9,7	630 - <u>650</u> - 670 <sup>1</sup>
Mogno	616,91	13,8	614,59	10,7	490 - <u>520</u> - 530 <sup>1</sup>
Tola	531,53	12,4	505,94	9,8	480 - <u>500</u> - 510 <sup>1;2</sup>
Castanho	578,65	12,8	570,09	14,1	540 - <u>590</u> - 650 <sup>1;2</sup>
Ipê	1133,58	10,3	1127,33	10,6	680 - 1050 <sup>3</sup>
Sucupira	889,72	12,7	904,00	12,9	915 <sup>2</sup>
Tatajuba	894,78	12,0	870,91	12,8	740 - 880 <sup>3</sup>
Wengé	877,42	10,4	879,46	11,6	780 - <u>830</u> - 900 <sup>1;2</sup>
Mutene	735,12	12,1	641,58	11,5	760 - <u>820</u> - 880 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> NP EN 350-2 (2001) ; <sup>2</sup> Casasús (1997) ; <sup>3</sup> AIMMP

A variabilidade da densidade manifesta-se numa árvore em termos de madeira inicial ou final, em diferentes pontos da árvore, entre diferentes árvores da mesma espécie e de espécie para espécie. A massa volúmica depende ainda da estrutura da madeira (proporções dos diferentes tipos de células, tamanho das células e sobretudo da espessura das paredes), de factores genéticos e das condições de crescimento (Sol, temperatura, precipitação, altitude...). A dureza da madeira está relacionada com a densidade de tal maneira que as madeiras mais duras são as de maior massa volúmica, tendo uma elevada importância na sua relação com a dificuldade de ser trabalhada mecânica ou manualmente. Assim, as madeiras de maior massa volúmica apresentam uma menor permeabilidade o que implica dificuldades no acabamento da superfície.

A madeira é um material intrinsecamente higroscópico, o que implica que a comparação da massa volúmica de duas amostras só pode ser validada se for considerado o mesmo estado higrométrico. A

madeira tende a absorver ou perder água, segundo as condições do ambiente que a rodeia. O teor em água da madeira deve ser controlado porque a água acelera a degradação do acabamento.

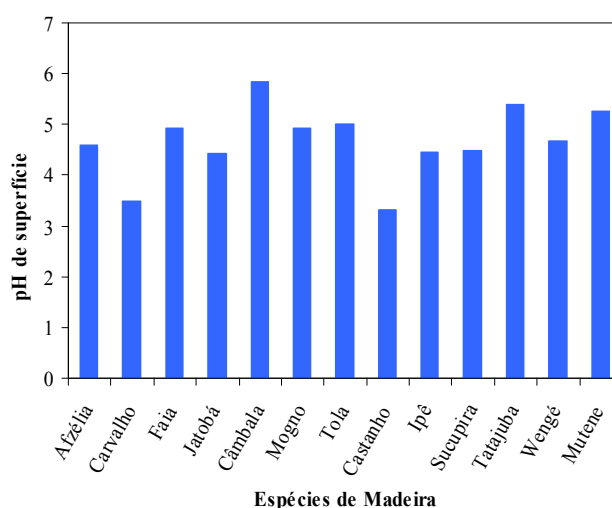
## 4.2 pH de superfície

A análise do pH de superfície da madeira é de extrema importância para uma melhor compreensão da aplicação dos produtos de acabamento na superfície.

Os valores do pH médio de superfície obtidos pelo método do eléctrodo de superfície são apresentados na tabela seguinte com o respectivo desvio padrão, pelo que a sua variação pode ser mais facilmente observada na Figura 4.1. Os valores determinados estão de acordo com o referido por Stamm (1964), em que as espécies de madeira apresentam um carácter ácido, sendo as de maior acidez o Carvalho e o Castanho.

**Tabela 4.2.** pH de superfície para cada espécie.

Espécies de Madeira	pH de superfície médio (aos 2 min)	Desvio Padrão
Afzélia	4,589	0,16
Carvalho	3,497	0,012
Faia	4,912	0,084
Jatobá	4,418	0,054
Câmbala	5,839	0,077
Mogno	4,936	0,064
Tola	5,013	0,039
Castanho	3,328	0,038
Ipê	4,445	0,028
Sucupira	4,493	0,024
Tatajuba	5,405	0,019
Wengé	4,663	0,094
Mutene	5,245	0,058



**Figura 4.1.** pH médio de superfície para cada espécie.

Uma diferença ao nível da quantidade e da qualidade dos extractáveis poderá explicar as diferenças de pH entre as espécies estudadas. Deste modo, o pH da madeira pode alterar o pH do verniz na interface e modificar a sua aderência. Por outro lado, pode interferir com a cura dos polímeros constituintes dos produtos de acabamento.

## 4.3 Rugosidade

A avaliação quantitativa do estado de superfície da madeira foi obtida através de um rugosímetro que utiliza a técnica de palpação que permitiu determinar os parâmetros de rugosidade Ra e Rz.

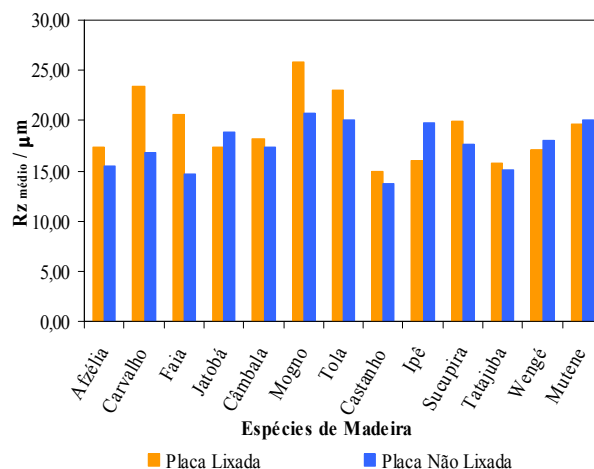
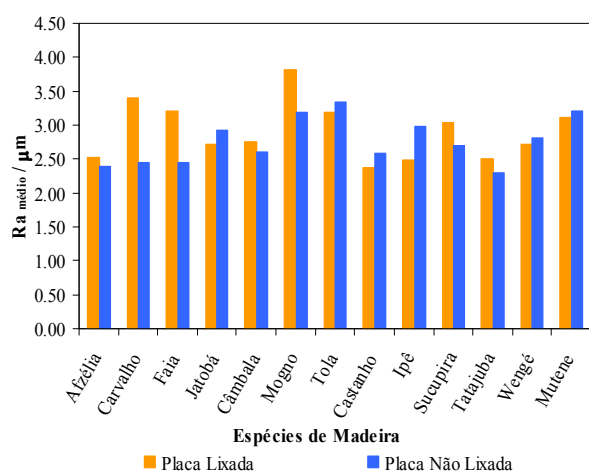
Como referido na secção 3.4, foi realizado um elevado número de ensaios com 2 tipos de provetes, lixados e não lixados nas faces opostas de maior área, segundo as direcções do fio e perpendicular a este, para cada espécie; o que permitiu construir as tabelas A3.1, A3.3, A3.5, A3.7, A3.9, A3.11, A3.13, A3.15, A3.17, A3.19, A3.21, A3.23, A3.25 apresentadas no Anexo 3 e calcular o valor médio e respectivo desvio padrão dos parâmetros.

Com o objectivo de verificar se as diferenças entre os valores dos parâmetros de cada uma das faces, identificadas nas referidas anteriormente, do Anexo 3 como “Face 1” e Face 2” para cada provete, eram significativas realizou-se uma análise estatística através do teste t-student para 95% de confiança. Com os valores apresentados nas Tabelas A3.2, A3.4, A3.6, A3.8, A3.10, A3.12, A3.14, A3.16, A3.18, A3.20, A3.22, A3.24, A3.26 do Anexo 3 constatou-se ser indiferente considerar uma ou outra face (quer para provete com e sem lixagem) para comparar as espécies e aplicar o produto de acabamento. Deste modo escolheu-se a face de todos os provetes das diversas espécies designada como “Face 1”, pelo que se procedeu à respectiva comparação diferenciando a medição pela direcção axial e radial do fio em ambos os tipos de placas.

Assim, os valores médios dos parâmetros para os dois tipos de provetes, das medições ao longo do fio e perpendicular a este, estão registados nas Tabelas 4.3 e 4.4, respectivamente. As Figuras 4.2 e 4.3 evidenciam facilmente a variação média, para ambas as direcções, dos parâmetros Ra e Rz para os provetes das treze espécies em análise.

**Tabela 4.3.** Parâmetros de rugosidade medidos na direcção do fio.

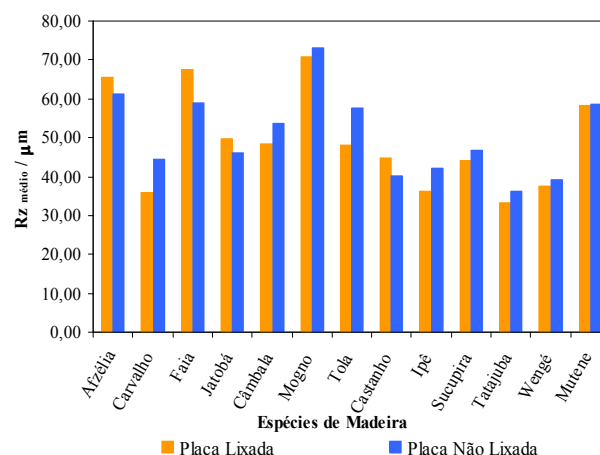
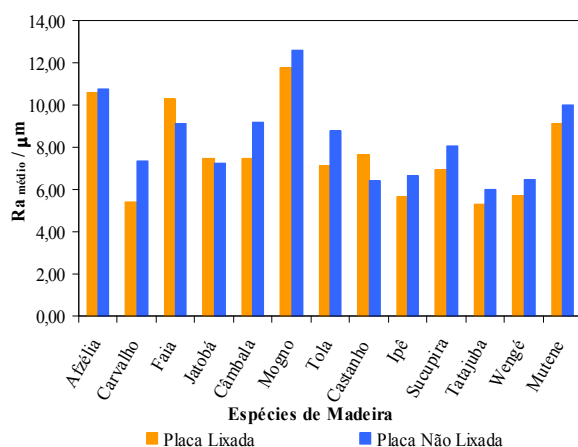
Espécies de Madeira	DIRECÇÃO DO FIO							
	Placa Lixada				Placa Não Lixada			
	Ra médio (µm)	Desvio Padrão (µm)	Rz médio (µm)	Desvio Padrão (µm)	Ra médio (µm)	Desvio Padrão (µm)	Rz médio (µm)	Desvio Padrão (µm)
Afzélia	2,53	0,59	17,42	2,63	2,40	0,60	15,45	3,02
Carvalho	3,40	1,16	23,39	6,41	2,44	0,77	16,78	3,99
Faia	3,21	1,11	20,62	7,05	2,44	0,74	14,60	3,59
Jatobá	2,72	0,48	17,34	3,23	2,92	0,47	18,80	2,96
Câmbala	2,76	0,53	18,17	3,56	2,60	0,45	17,34	2,68
Mogno	3,82	1,08	25,81	6,29	3,20	0,56	20,72	3,34
Tola	3,18	0,83	23,05	6,52	3,35	1,14	20,03	7,14
Castanho	2,38	0,38	14,90	2,01	2,59	1,23	13,71	2,31
Ipê	2,50	0,59	16,03	3,37	2,99	0,84	19,71	4,21
Sucupira	3,04	0,74	19,96	4,58	2,70	0,82	17,67	4,22
Tatajuba	2,50	1,25	15,78	6,88	2,30	0,43	15,05	2,59
Wengé	2,72	0,64	17,14	4,12	2,81	0,66	17,96	3,75
Mutene	3,11	1,08	19,65	6,98	3,21	1,36	20,00	8,30



**Figura 4.2.** Ra (a) e Rz (b) médios para os provetes lixados e não lixados das treze espécies, medidos na direcção do fio.

**Tabela 4.4.** Parâmetros de rugosidade medidos na direcção perpendicular ao fio.

Espécies de Madeira	DIRECÇÃO PERPENDICULAR AO FIO							
	Placa Lixada				Placa Não Lixada			
	Ra médio ( $\mu\text{m}$ )	Desvio Padrão ( $\mu\text{m}$ )	Rz médio ( $\mu\text{m}$ )	Desvio Padrão ( $\mu\text{m}$ )	Ra médio ( $\mu\text{m}$ )	Desvio Padrão ( $\mu\text{m}$ )	Rz médio ( $\mu\text{m}$ )	Desvio Padrão ( $\mu\text{m}$ )
Afzélia	10,57	1,85	65,53	10,59	10,77	1,32	61,35	5,69
Carvalho	5,39	0,54	36,00	2,97	7,38	1,06	44,41	4,77
Faia	10,31	1,79	67,52	11,08	9,11	2,50	59,00	12,28
Jatobá	7,45	0,94	49,68	6,08	7,26	0,76	45,99	4,71
Câmbala	7,45	1,94	48,24	6,75	9,20	1,84	53,65	7,81
Mogno	11,77	2,19	70,86	10,48	12,57	1,13	73,04	3,37
Tola	7,11	1,18	48,05	9,24	8,78	1,20	57,69	8,67
Castanho	7,62	1,41	44,77	7,44	6,40	0,57	40,03	3,92
Ipê	5,62	0,92	36,20	7,05	6,67	0,39	42,14	3,59
Sucupira	6,95	1,25	44,15	7,25	8,06	0,80	46,84	3,88
Tatajuba	5,27	1,30	33,31	7,56	5,99	0,46	36,34	4,05
Wengé	5,72	1,43	37,66	8,10	6,50	0,67	39,17	4,19
Mutene	9,13	1,86	58,18	10,72	9,98	1,41	58,69	7,31



(a) (b)

**Figura 4.3.** Ra (a) e Rz (b) médios para os provetes lixados e não lixados das treze espécies, medidos na direcção perpendicular ao fio.

Nas figuras acima são perceptíveis as diferenças quantitativas do estado de superfície das espécies em termos de parâmetros Ra e Rz de rugosidade, verificando-se que o Mogno apresenta os valores mais elevados. É ainda de realçar, que a diferença de valores, entre os provetes que foram sujeitos a lixagem e os que não foram, não é tão significativa como se esperaria, pois utilizou-se uma lixa P 220 que funcionou praticamente como polimento. Comparando as Figuras 4.2 (a e b) e 4.3 (a e b) é possível depreender que os valores dos parâmetros são mais elevados quando a medição foi efectuada na direcção perpendicular ao fio, devido à estrutura fibrosa da madeira.

De um modo geral, a rugosidade média aritmética Ra não permite diferenciar os perfis inversos, relativamente à linha média e, portanto, não fornece nenhuma informação sobre a robustez ou fragilidade do perfil. Este critério é relativamente pouco sensível aos valores acidentais de amplitude máxima, que não têm nenhuma acção funcional, e também a um pico ou vale atípico, ocultando o defeito, mas permite diferenciar diversos perfis de rugosidade característicos. Rz é geralmente mais sensível às mudanças no

acabamento superficial do que Ra, sendo um critério útil no controlo do processo produtivo. É um parâmetro bastante apto para a avaliação de superfícies pequenas, logo com perfis de rugosidade bastante curtos.

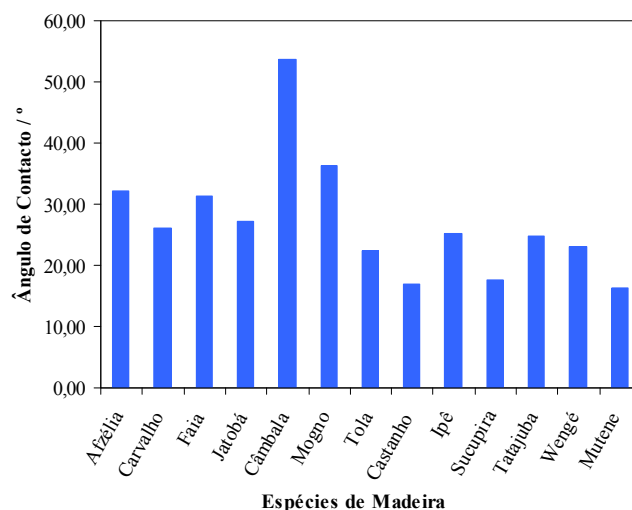
A avaliação da rugosidade da superfície da madeira é uma tarefa difícil, pois depende da estrutura celular e do processo de maquinação.

#### 4.4 Molhabilidade

Os valores dos ângulos de contacto apresentados na Tabela 4.5 são resultantes da média de apenas 3 medições. Como referido na secção 3.5, estes foram determinados pela intersecção de duas rectas obtidas por ajuste dos pontos experimentais referentes à fase de espalhamento/difusão. Nas amostras correspondentes à Tola não foi possível aplicar este método, uma vez que a gota era rapidamente absorvida. Por isso, optou-se por considerar o ângulo de contacto de todos os ensaios aos 10 segundos assegurando que já se tinha ultrapassado a fase de espalhamento. A aquisição foi feita em cada meio segundo, mas foi constatado que em alguns ensaios, o sistema não era capaz de estabilizar.

**Tabela 4.5.** Ângulos de contacto para cada espécie.

Espécies de Madeira	Ângulo de Contacto (°)	
	Média	Desvio Padrão
Afzélia	32,20	3,91
Carvalho	26,18	5,22
Faia	31,27	2,53
Jatobá	27,11	2,73
Câmbala	53,62	2,74
Mogno	36,33	4,95
Tola	22,33	3,21
Castanho	16,92	1,25
Ipê	25,30	2,76
Sucupira	17,61	3,98
Tatajuba	24,71	6,72
Wengé	23,00	1,04
Mutene	16,27	1,95

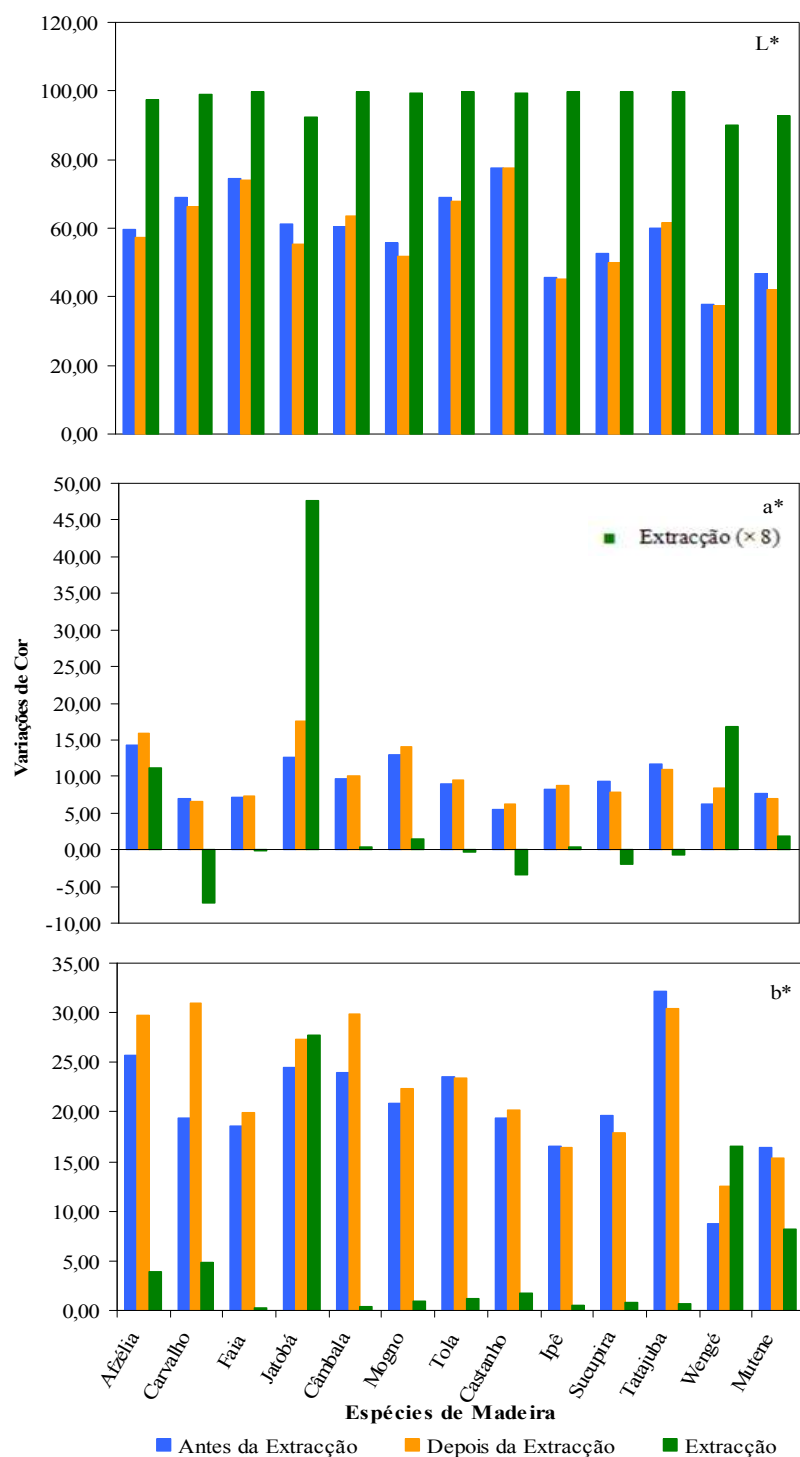


**Figura 4.4.** Ângulos de contacto para cada espécie.

Através dos valores médios dos ângulos de contacto registados na Tabela 4.5 e da observação da Figura 4.4, acima, constata-se, como seria de esperar, diferenças nos valores dos ângulos de contacto e consequentemente da molhabilidade nas treze espécies; sendo de realçar a baixa molhabilidade da Câmbala. Estas diferenças de molhabilidade não são devidas apenas a uma diferença de composição química, mas também a diferenças de massa volúmica, porosidade, rugosidade, heterogeneidade inerente do material e natureza dos extractáveis, isto é, depende da sua polaridade. Os extractáveis polares vão em princípio favorecer a molhabilidade dos produtos aquosos, enquanto que os apolares terão um efeito contrário. Os valores dos ângulos de contacto obtidos podem estar afectados de algum erro inerente à contaminação do líquido, devendo por isso ser considerados com alguma precaução.

## 4.5 Cor

A análise colorimétrica pelo sistema CIELab permitiu determinar os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  cujos valores médios se apresentam na Tabela A4.1 no Anexo 4. A Figura 4.5 apresenta os resultados do estudo da cor das espécies de madeira nas 3 fases do ensaio (amostras de madeira maciça não tratada, amostras de madeira maciça após extração em água e solução aquosa de extractáveis).



**Figura 4.5.** Variações de Cor expressa nos parâmetros do sistema CIELab para cada espécie.



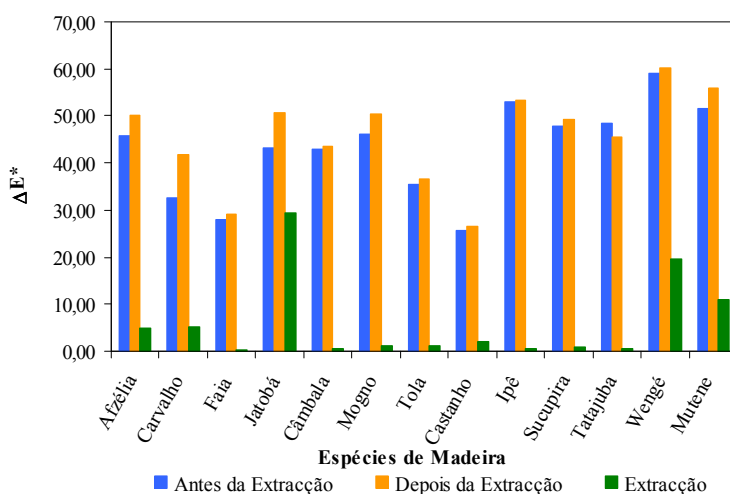
Pode-se verificar que, de um modo geral, em todos os ensaios (antes, depois e no extracto) existe tendência para o laranja, isto é, mais vermelho e mais amarelo ( $a^*$  e  $b^*$  mais positivos), especialmente para a Jatobá, Câmbala, Tola e Tatajuba. No Wengé, é muito menos acentuada nas madeiras maciças mas muito laranja no extracto.

A componente extraída apresenta toda maior luminosidade ( $L^*$ ) em todas as espécies. Em termos de cromaticidade, é de realçar a forte coloração dos extractáveis solúveis em água da espécie Jatobá.

Comparando os parâmetros colorimétricos para as superfícies de madeira maciça (antes e depois da extracção) constata-se que não existem diferenças significativas de variação de cor, o que pode levar a afirmar que essas variações não se reflectem ao nível da superfície, mas sim ao nível dos extractáveis presentes no interior da madeira.

Esta análise referente aos parâmetros está também de acordo com o apresentado na Tabela A4.2 e Figura A4.1 no Anexo 4, em termos de  $\Delta L^*$  (diferença de Luminosidade),  $\Delta a^*$  (relação Vermelho-Verde) e  $\Delta b^*$  (Relação Amarelo-Azul).

As diferenças totais da cor  $\Delta E^*$ , obtidas pela equação (2.6), estão registadas na Tabela A4.3 do Anexo 4 e podem ser observadas na Figura seguinte.



**Figura 4.6.** Diferença total de cor  $\Delta E^*$ , para as espécies de madeira.

As várias espécies de madeira apresentam e extraem colorações diferentes resultantes do tipo, da quantidade e da intensidade dos extractáveis.

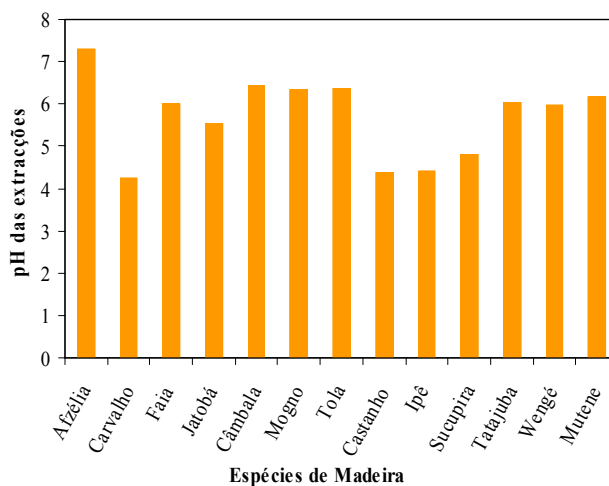
## 4.6 Extractáveis

Os extractáveis afectam o acabamento e incluem um larga gama de produtos químicos com diferentes solubilidades na água, solventes orgânicos e em polímeros dos produtos de acabamento.

Para além do estudo do pH de superfície da madeira maciça, atrás referido, analisou-se o **pH das soluções aquosas dos extractáveis** das madeiras em ensaio, cujos resultados se apresentam na Tabela 4.6 e na Figura 4.7.

**Tabela 4.6.** pH das extracções para cada espécie.

Espécies de Madeira	pH das extracções (aos 2 min)	T (°C)
Afzélia	7,291	19,1
Carvalho	4,258	19,1
Faia	5,995	19,1
Jatobá	5,530	19,1
Câmbala	6,453	19,1
Mogno	6,330	19,1
Tola	6,372	19,1
Castanho	4,370	19,1
Ipê	4,412	19,1
Sucupira	4,823	19,1
Tatajuba	6,042	19,1
Wengé	5,972	19,1
Mutene	6,167	18,4



**Figura 4.7.** pH das extracções para cada espécie.

Na Figura 4.7 é possível observar que as soluções das várias espécies se encontram na zona de pH ácido, à excepção da Afzélia que se encontra numa zona praticamente neutra.

Comparando o pH das extracções com o pH de superfície apresentados anteriormente (Tabela 4.2 e Figura 4.1) verifica-se que o pH das extracções é ligeiramente superior ao pH de superfície, não existindo nenhuma correlação entre eles.

Assim, a acidez dos extractáveis pode interferir com a cura química dos polímeros constituintes dos produtos de acabamento, retardando a cura no caso dos produtos de cura alcalina ou acelerando no caso dos produtos de cura ácida.

Quanto à análise das soluções coradas por **espectrofotometria UV-Visível**, cujos resultados de comprimento de onda ( $\lambda$ ) e de absorvância (Abs) nas soluções iniciais são apresentados na Tabela 4.7, (apresentam-se os valores calculados tendo em conta a concentração das soluções) comprova-se que as madeiras estudadas têm diferentes extractáveis que absorvem a diferentes comprimentos de onda e que lhes confere desigualdades de cor tão características das madeiras. A diferente absorção da radiação na zona do UV-Vis também confere diferente resistência às várias espécies à fotooxidação por exposição à radiação solar. Por outro lado, as espécies com elevada absorção na região do UV podem interferir no endurecimento da película no caso dos produtos aquosos de cura UV.

**Tabela 4.7.** Parâmetros ( $\lambda$  e Abs) da análise por espectrofotometria UV-Visível.

Espécies de Madeira	T <sub>ambiente</sub> (°C)	Diluições	$\lambda$ (nm)	Absorvâncias (Jasco V-650)	Observações
Afzélia	21	Sem diluição	420	0,206	
		Diluição 50%	272	4,29	
			420	0,21	
Carvalho	21	Sem diluição	420	0,363	
		Diluição 50%	420	0,372	
		Diluição 25%	420	0,396	
Faia	21	Sem diluição	274	0,389	
			420	0,038	
Jatobá	21	Sem diluição	420	0,287	
		Diluição 50%	420	0,298	
		Diluição 25%	420	0,302	
Câmbala	21	Sem diluição	280	0,385	Absorvância Máxima
			320	0,301	Pico
			420	0,018	
Mogno	21	Sem diluição	280	0,313	Absorvância Máxima
			420	0,021	
Tola	21	Sem diluição	280	0,396	Absorvância Máxima
			420	0,027	
Castanho	17	Sem diluição	420	0,0912	
		Diluição 50%	420	0,0972	
Ipê	17	Sem diluição	280	1,588	
			420	0,0402	
			280	1,564	
Sucupira	17	Sem diluição	420	0,0306	
			270	2,062	
			326	1,969	
		Diluição 50%	420	0,0532	
			270	2,088	
			326	1,988	
Tatajuba	17	Sem diluição	420	0,0614	
			282	0,849	
		Diluição 50%	420	0,0579	
			282	0,962	
Wengé	17	Sem diluição	420	0,0766	
			264	9,324	
		Diluição 50%	420	1,39	
			284	8,088	
Mutene	22	Sem diluição	420	1,416	
			282	2,542	
			354	0,548	
		Diluição 50%	420	0,168	
			282	2,514	
			354	0,554	
		Diluição 25%	420	0,1876	
			282	2,544	
			354	0,576	
			420	0,2284	

Com vista a identificar o tipo de extractáveis que dão cor às extracções foram realizadas **análises de cromatografia líquida associada a espectrometria de massa** para 4 espécies: Faia, Castanho, Jatobá, Wengé.

Sendo uma técnica recente, ainda pouco aplicada em análises de extractos de madeira e devido à inexistência de uma base de dados, apenas se conseguiu identificar alguns compostos com os pesos moleculares determinados por espectrometria de massa (MS) comparando com alguns estudos já realizados com esta técnica por outros autores. (Nonier et al, 2005; Vivas et al, 1996; Soong et al, 2005).

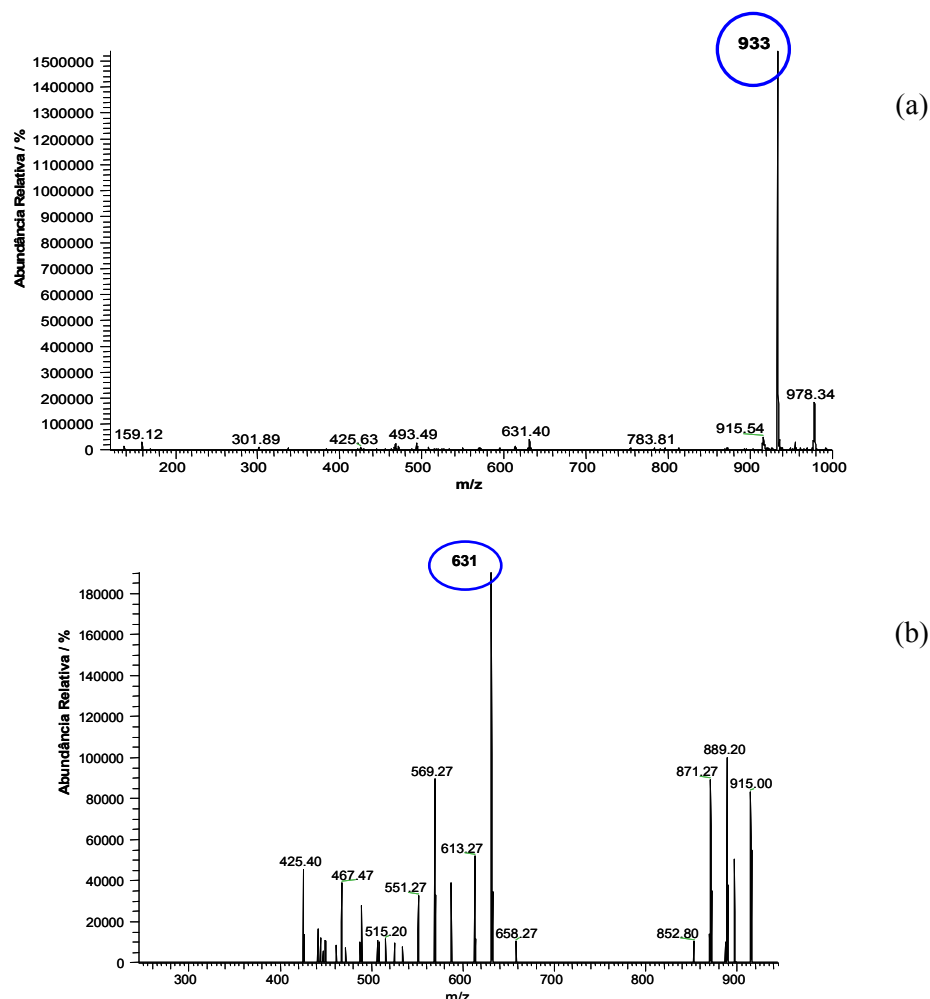
Os cromatogramas de “full MS”, tal e qual são fornecidos pelo equipamento, foram determinados em modo negativo e são apresentados no Anexo 6.

Destas análises, constatou-se que a Faia não continha compostos com peso molecular 120 – 1000 m/z no extracto, que de facto apresentava cor muito clara. No extracto correspondente ao Castanho encontraram-se 3 compostos que se conseguiram identificar plenamente estando as suas características (tempo de retenção, t.r.; ião principal  $[M - H]^-$  e respectivos fragmentos,  $MS^2$  e  $MS^3$ ) sumariadas na Tabela 4.8. De facto este resultado já seria de esperar, tendo em conta que acordo com a literatura, os derivados do ácido elágico são os mais abundantes nesta espécie (Mämmelä *al.*, 2001).

**Tabela 4.8.** Dados da análise de HPLC-ESI-MS dos extractáveis do Castanho.

Pico	Composto	t.r. (min)	$[M - H]^-$ (m/z)	$MS^2$ (m/z)	$MS^3$ (m/z)
1	Vescalina / Castalina	6,63	631	569; 613; 587	479; 509
2	Derivado do ácido elágico	7,38	481	301	257
3	Vescalagina / Castalagina	8,03	933	631	569

A Figura 4.8 representa um exemplo de um espectro de massa e também dos fragmentos, tratados com ajuda do software *Xcalibur 1.4* e da aplicação *Powerpoint*, relativos à Castalagina identificada no Castanho.



**Figura 4.8.** Espectros de massa  $MS$  (a) e  $MS^2$  (b) do pico cromatográfico da Castalagina.

Quanto às análises das soluções de Jatobá e de Wengé foram encontrados um maior número de compostos que possivelmente conferem cor à solução, não sendo, contudo, possível identificar muitos deles. As Tabelas 4.9 e 4.10 mostram as características dos compostos identificados e não identificados correspondentes à madeira de Jatobá e de Wengé, respectivamente.

**Tabela 4.9.** Dados da análise de HPLC-ESI-MS dos extractáveis do Jatobá.

Pico	Composto	t.r. (min)	[M - H] <sup>-</sup> (m/z)	MS <sup>2</sup> (m/z)	MS <sup>3</sup> (m/z)
4	Não identificado	6,52	205	129; 173	
5	Não identificado	9,35	831	679; 500	
6	Não identificado	9,40	679	661	
7	Não identificado	11,63	573	463; 421	445; 301; 339
8	Não identificado	13,95	561	409; 289; 451	391
9	Não identificado	15,58	593	549; 439; 289	289; 439
11	Não identificado	18,13	419	273; 255	149
12	Não identificado	18,95	333	287	269
13	<b>Taxifolina</b>	20,01	303	259	231
14	Não identificado	21,67	319	273	149
15	<b>Procianidina A, Dímero</b>	22,29	575	303; 285; 423	285
16	Não identificado	24,32	607	453; 545	435; 343
17	<b>Quercetina</b>	27,01	447	301	179; 271; 151
18	Não identificado	35,44	587	569; 283	

**Tabela 4.10.** Dados da análise de HPLC-ESI-MS dos extractáveis do Wengé.

Pico	Composto	t.r. (min)	[M - H] <sup>-</sup> (m/z)	MS <sup>2</sup> (m/z)	MS <sup>3</sup> (m/z)
19	Não identificado	6,11	213	129	
20	Não identificado	6,18	286	227	113
21	Não identificado	6,31	619	601	232
22	Não identificado	6,70	343	223; 151; 253; 271	151
23	<b>Quercetina - O -pentosídica</b>	9,54	433	313; 343	285
24	<b>Quercetina - O - hexosídica</b>	10,32	463	343; 373	315
25	Não identificado	21,34	347	167	152
26	Não identificado	36,22	839	351	175

Para se poder avançar mais neste estudo será imprescindível dispor-se de padrões dos compostos que possivelmente estarão presentes nos extractos. Só assim seria possível identificar-se inequivocamente alguns dos picos.

## 5 Conclusões

A aptidão da madeira para o acabamento depende para além do tipo de espécie, de características intrínsecas à sua estrutura como: massa volúmica, teor em água, pH, rugosidade, molhabilidade, variações de cor e dos extractáveis.

A massa volúmica é um critério importante da escolha da madeira para determinada aplicação, pois existe uma correlação consistente entre a massa volúmica e a resistência mecânica. As madeiras mais pesadas, como por exemplo o Ipê e a Sucupira, são em geral mais fortes, mas dificultam a penetração e adesão dos produtos de acabamento. Por outro lado, madeiras muito porosas podem absorver demasiado os produtos de acabamento deixando um filme muito fino. A humidade na madeira afecta o seu comportamento físico e mecânico, dando origem a um processo de inchamento e retracção em função do teor em água. Este processo origina tensões no filme dos produtos de acabamento podendo provocar a sua deterioração.

O conhecimento do pH de superfície da madeira é fundamental para o seu uso eficiente na escolha dos produtos de acabamento. A acidez da madeira, verificada no Carvalho, e a sua capacidade tampão tem um papel preponderante no comportamento da aderência dos produtos de acabamento. A acidez dos extractáveis também pode interferir com a cura química dos polímeros.

A rugosidade pode afectar o acabamento quer de uma forma positiva, pois área da superfície aumenta e portanto as zonas de penetração e fixação dos produtos de acabamento, quer de forma negativa pois o ar preso nos vazios prejudica a adesão dos produtos de acabamento.

A molhabilidade depende de vários factores (espécie da madeira, extractáveis, teor em água, rugosidade), verificando-se que quer uma baixa molhabilidade, como a Câmbala; quer uma elevada molhabilidade, como o Mutene, poderão trazer problemas de penetração e adesão dos produtos. Assim um conhecimento profundo do fenómeno da molhabilidade na madeira é importante para melhorar a interacção entre a madeira e os produtos de acabamento. A contaminação química interfere com a molhagem, escoamento e penetração dos produtos de acabamento. Por esta razão, para o acabamento é importante que as superfícies estejam isentas de poeira, óleos, gorduras, ceras e outros contaminantes.

A alteração da cor da madeira pode ser devida à exposição ao ar e luz (Ultravioleta) e às substâncias contidas no seu interior como consequência de reacções químicas ou de outra natureza mais ou menos complexas (oxidação). Os extractáveis são responsáveis pela descoloração da madeira quando dissolvidos e lixiviados da madeira pela água, causando manchas nos produtos de acabamento. São também responsáveis pela dificuldade da aplicação de certas tecnologias (colagem) e em processos de acabamento de superfície como tintas e vernizes.

Do trabalho realizado conclui-se que as espécies de madeira exóticas estudadas têm diferentes propriedades que poderão influenciar a adesão do produto e o desempenho final do acabamento.

## **6 Avaliação do trabalho realizado**

### **6.1 Objectivos Realizados**

O objectivo deste trabalho consistia em estudar as características da superfície das madeiras exóticas tais como: densidade, teor em água, pH de superfície, rugosidade com e sem lixagem, molhabilidade, variações de cor e extractáveis solúveis em água que podem afectar o acabamento final.

Após longos meses de trabalho e dedicação exclusiva ao projecto, os objectivos foram cumpridos.

### **6.2 Outros Trabalhos Realizados**

Como complemento ao trabalho desenvolvido, e apesar de não ter sido possível realizar testes de aptidão das várias espécies ao acabamento com vernizes aquosos, tomou-se conhecimento na CIN e numa visita ao Departamento de Engenharia das Madeiras da Escola Superior de Tecnologia de Viseu sobre os ensaios mais importantes para a avaliação da qualidade do acabamento com estes produtos. Entre eles a determinação do brilho especular, da dureza, da aderência, da espessura da película, entre outros.

Ainda com este projecto, e tendo sido elaborado um poster para apresentação do trabalho participei no 1º Encontro de Jovens Investigadores da Universidade do Porto intitulado IJUP08 – Investigação Jovem na Universidade do Porto.

### **6.3 Limitações e Trabalho Futuro**

A avaria do equipamento para determinação dos ângulos de contacto e a falta de uma base de dados relativa às análises de LCMS foram as dificuldades encontradas ao longo da realização deste projecto.

Numa perspectiva de trabalho futuro para complemento do presente trabalho sugere-se a exploração de técnicas, nomeadamente, a molhabilidade para a determinação da tensão superficial da madeira e a técnica de LCMS para identificação/confirmação da natureza química dos extractáveis através da utilização de padrões. Finalmente, avaliar o desempenho dos vernizes aquosos nas espécies estudadas.

### **6.4 Apreciação final**

Este trabalho foi um bom ponto de partida para me iniciar na área da investigação científica. A minha intensa e exclusiva dedicação ao projecto não permitiu um maior conhecimento de determinadas características em virtude de o tempo ter sido muito curto para o trabalho a realizar.

## Referências

- AIMMP, Associação de Indústrias de Madeira e Mobiliário de Portugal. *Manual de Pavimentos para as indústrias de madeira.*
- Carter, R., *Wood characteristics and properties affecting finishing*, In Furniture finishing manual, N.C. State Coll., School For. Tech. Rep. N°6, Raleigh, N.C., 1956.
- Carvalho, A. *Madeiras Portuguesas*, Volume I. Instituto Florestal, 1996.
- Carvalho, L. *Caracterisation Physico-Chimique de la Surface du Chêne Pedonculé*. Diplome d'Études Approfondies "Sciences du Bois", ESSTIB – Université de Nancy I, 1990.
- Berg, J.C. *Role of acid-base interactions in wetting and related phenomena*. In Wettability, Chapter 2, Ed. J. C. Berg. Marcel Dekker, New York, pp. 75-148, 1993.
- Camargos, J.A. *Colorimetria quantitativa aplicada na elaboração de uma tabela de cores para madeiras tropicais*. Dissertação de Mestrado, Dep. Eng. Florestal – UnB., Brasília, DF, 1999.
- Casasús, A., Esteban, L., Sanchez, F. *Espécies de Madera: para carpinteria, construcción y mobiliário*. Asociación de Investigación Técnica delas Industrias de la Madera y Corcho – AITIM, Espanha, 1997.
- Coelho, C. *Influence de l' Usinage du Bois sur les Caractéristiques Objectives et sur la Perception Subjective de l' Aspect d'une Finition*. Tese de Douturamento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2005.
- Coelho, C., L., Carvalho, L. H., Martins, J., Costa, C., Masson, D., Méausoone, P. J. Method for evaluating the influence of wood machining conditions on the objective characterization and subjective perception of a finished surface. *Wood Sci Technol, published Online First™*, (2007).
- CTBA – Centre Technique du Bois et de l' Ameublement, Paris, França, 1992.
- Davim, J.P. *Princípios de Maquinagem*. Livraria Almedina, Coimbra, 1995.
- Desh, H, Dinwoodie, J. *Timber: its structure, properties and utilisation*, 6.Ed. London:McMillan, 1993.
- Dupont, G. *Le Matériau Bois: propriétés, technologie, mise en oeuvre*. In A.R.B.O.L.O.R Albe, 1983.
- Fengel, D., Wegener, G. *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions*. Walter de Gruyter & Co, Berlin, 1989.
- Gallego, G. M. *Manual para la Instalación del Pavimento de Madera*. Asociación de Investigación Técnica delas Industrias de la Madera y Corcho – AITIM, Espanha, 1997.
- Gardner, D.J. Application of the Lifshitz-van de Waals Acid-Base Approach to Determine Wood Surface Tension Components. *Wood and Fiber Science*, **28(4)**, 422 - 428 (1996).



- Gindl, M., Reiterer, A., Sinn, G., Stanzl-Tschegg, S. Effects of surface ageing on wettability, surface chemistry, and adhesion of wood. *Holz Roh Werkst*, **62**, 273 - 280 (2004).
- Good, R.J. *Contact Angle, Wetting and Adhesion: a critical view. Contact Angle, Wetting and Adhesion*. Ed. K. L. Mittal. VSP, Utrecht, The Netherlands, 1993.
- Gurau, L., Mansfield-Williams, H. Processing roughness of sanded wood surfaces. *Holz Roh Werkst*, **63**, 43 – 52 (2005).
- ISO 4287, Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface Texture. Profile Method. Terms, definitions and surface texture parameters.
- Jakub, S., Martino, N. Wood surface roughness – what is it?, *Proceedings of the 17<sup>th</sup> International Wood Machining Seminar*, Rosenheim, Germany, 26 -28 Sept 2005 pp. 242 – 250.
- Carvalho, L. *Caracterisation Physico-Chimique de la Surface du Chêne Pedunculé*. Diplome d'Études Approfondies “Sciences du Bois”, ESSTIB – Universidade de Nancy I, 1990.
- Johns, W., Niazi, K. Effect of pH and Buffering capacity of wood on the Gelation time of Urea-Formaldehyde Resin. *Wood and Fiber*, **12(4)**, 255 – 263 (1980).
- Johnston, D. *La Madera; Clases y Caracteristicas*. Asociación. Ediciones ceac, Espanha, 1983.
- Lee, L. *Ed. Fundamentals of Adhesion*. Plenum Press, New York, 1991.
- Lemaster, R.L., Dornfeld, D.A. The use of an optical profilometer to monitor product quality in wood and woo-based products, *Proceedings of the Sanding and Sawing Seminar*, Sept 21 -22, Portland, OR,
- Lemaster, R.L. The use of an optical profilometer to monitor product quality in wood and wood-based products *Proceedings of the national Particleboard Association Sanding and Sawing Seminar*, Charlotte NC, Nov 14 -15, 1995, Published by Bradfiled, Forest Products Society, Madison, WI, pp 33 – 42 , 1997.
- Malkoçoğlu, A. Machining properties and surface roughness of various wood species planed in different conditions. *Building and Environment*, **42**, 2562 - 2567 (2007).
- Mämmelä, P. Phenolics in selected European hardwood species by the liquid chromatography-electrospray ionisation mass spectrometry. *The Royal Society of Chemistry*, **126**, 1535-1538 (2001).
- Mantanis G.I, Young, R.A. Wetting of wood. *Wood Sci Technol*, **31**, 339 - 353 (1997).
- Marques, E. *Estudo da Influência das Condições de Operação do Torno na Qualidade Final do Produto Madeira*. Tese de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal, 2006.
- Mittal, K.L., Ed. *Contact Angle, Wettability and Adhesion: Festschrift in honor of Professor Robert J. Good*. VSP, Utrecht, The Netherlands, 1993.
- Nonier, M., Vivas, N. Global fractionation of oak heartwood extractable polymers (lignins, polysaccharides and ellagitannins) by selective precipitations. *J Sci Food Agric*, **85**, 343 - 353 (2005).

NP 614, Madeiras. Determinação do Teor em água, 1973.

NP 616, Madeiras. Determinação da Massa Volúmica, 1973.

NP EN 350-2, Durabilidade da madeira e de produtos derivados - Durabilidade natural da madeira maciça - Parte 2: Guia da durabilidade natural da madeira e da impregnabilidade de espécies de madeira seleccionadas pela sua importância na Europa, 2001.

Oltean, L., Hansmann, C. Wood surface discolouration due to simulated indoor sunlight exposure . *Holz Roh Werkst*, (2007).

Oss, C.J. van *Interfacial forces in aqueous media*. Marcel Dekker, New York, 1994.

Shi, S.Q., Gardner, D.J. Dynamic Adhesive wettability of wood. *Wood and Fiber Science*, **33(1)**, 58 - 68 (1996).

Soon, S., Barlow, P. Isolation and structure of phenolic compounds from longan (*Dimocarpus longan* Lour.) seed by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, **1085**, 270 – 277 (2005).

Rosumek, O. Pin maritime pour contreplaqués: *etude de mouillabilité*. Diplome d'Études Approfondies en Sciences du Bois, Université de Nancy I, 1983.

Smith, W. *Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais*, 3ª Ed. McGraw-Hill, Lisboa, 1998.

Stamm, A.J. A comparison of three methods for determining the pH of wood and paper. *For. Prod. J.*, **11(7)**, 310 (1961).

Stamm, A.J. *Wood and Cellulose Science*. The Roland Press Company, New York 1964.

Vivas, N., Bourgeois, G., Freitas, V. Determination of the Composition of Comercial Tannin Extracts by Liquid Secondary Ion Mass Spectrometry . *J Sci Food Agric*, **72**, 309 – 317 (1996).

Wålinder, M. *Wetting phenomena on wood: factors influencing measurements of wood wettability*. Doctoral Thesis, KTH – Royal Institute of Technology, Stockholm, Stockholm, 2000.

Wålinder, M, Johansson, I. Measurement of Wood Wettability by the Wilhelmy Method Part 1: Contamination of Probe Liquids by Extractives. *Holzforschung*, **55(1)**, 321 - 32 (2001).

Wålinder, M. Study of Lewis Acid-Base Properties of Wood by Contact Angle Analysis. *Holzforschung*, **56(4)**, 363 - 371 (2002).

Wang, S., Zhang, Y., Xing, C. Effect of drying method on the surface wettability of wood strands. *Holz Roh Werkst*, **65**, 437 – 442 (2007).

Wenzel, R. Resistance of solid surfaces to wetting by water. *Ind. And Eng. Chem.*, **28(48)**, pp. 988 (1936).

Williams, R.S., *Finishing of Wood*. In: Wood Handbook: Wood as an Engineering Material, Forest Service, Forest Products Laboratory, Agric. Handbook nº72 (rev), Madison, Wis. Sup. of Documents, Gov. Print Off, Washington, D.C., 1987.

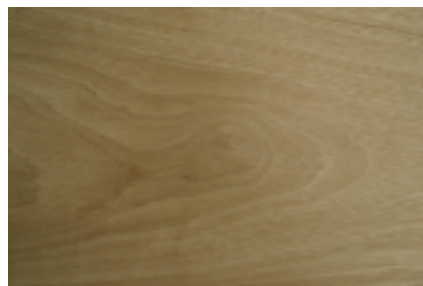
## Anexo 1 . Fichas Técnicas

As fichas técnicas das madeiras,

- Afzélia
- Carvalho
- Faia
- Jatobá
- Câmbala
- Mogno
- Tola
- Castanho
- Ipê
- Sucupira
- Tatajuba
- Wengé
- Mutene

foram escritas com base em dados da literatura entre os quais: AIMMP , Casasús (1997), CTBA (1992), Gallego (1997), Johnston (1983), NP EN 350-2 (2001) e são apresentadas nas páginas seguintes.

# AFZÉLIA



## NOME BOTÂNICO

*Afzelia bella* Harms, *Afzelia bipindensis* Harms,  
*Afzelia quanzensis* Welw.

## NOMES COMERCIAIS

Afzelia, Doussié, Pau-Ferro, Chanfuta

## ORIGEM

África – Angola, Congo, Costa do Marfim, Camarões, Guiné, Gana, Moçambique, Nigéria.

## DESCRIÇÃO GERAL

Madeira pesada, dura, grão médio. Fio direito e desigual. Textura uniforme podendo existir pequenos depósitos de minerais.

Borne muito distinto, de cor branco sujo a amarelo pálido e Cerne de cor castanho a castanho avermelhado.

Resistente a ácidos, fungos e insectos.

## CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

### Propriedades Físicas

Massa Volúmica (12%) 730 – 800 - 830

Retracção

Radial 3,0 – 3,1 %

Tangencial 4,2 – 4,6 %

Volumétrica 7,8 %

### Propriedades Mecânicas

Flexão Estática 110 – 150 N/mm<sup>2</sup>

Módulo de Elasticidade 12200 – 17700 N/mm<sup>2</sup>

Compressão Axial 63 – 85 N/mm<sup>2</sup>

Compressão Perpendicular –

## APTIDÃO AO ACABAMENTO

Remover pequenos depósitos de gomas e outros com solventes celulósicos para evitar problemas de adesão.

Aplicar tapa-poros antes dos produtos finais.

## APLICAÇÕES

Carpintaria de interiores e exteriores, construção naval, soalhos, parquet interior, mobiliário, tinas de produtos químicos, tanoaria, utilização em obras imersas (pontes, barrotes hidráulicos) e escadarias.

# CARVALHO

## NOME BOTÂNICO

*Quercus faginea* Lam, *Quercus robur* L.

## NOMES COMERCIAIS

Carvalho Português, Carvalho Comum, Chêne Zeen, Chêne Pedunculé, Portuguese Oak, European Oak.

## ORIGEM

Europa (Portugal, Alemanha, França), Ásia Menor e Norte de África.

## DESCRIÇÃO GERAL

Madeira moderadamente pesada, moderadamente dura a dura, grão grosseiro. Fio direito em geral recto. Textura uniforme.

Borne de cor branco amarelado a castanho. Cerne de cor acastanhada a castanho avermelhado. A madeira do cerne não é impregnável e a do borne é facilmente impregnável.

Durável à acção de fungos e moderadamente durável às térmitas. Madeira que tende a fender no exterior e que se descreve como sendo ácida, podendo corroer metais. Secagem lenta.

## CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

### Propriedades Físicas

Massa Volúmica (12%) 670 – 710 - 760

Retracção

Radial 3,9 – 4,7 %

Tangencial 6,9 – 10,5 %

Volumétrica 11,9 – 14,2 %

### Propriedades Mecânicas

Flexão Estática 86 – 138 N/mm<sup>2</sup>

Módulo de Elasticidade 10500 – 14500 N/mm<sup>2</sup>

Compressão Axial 52 – 64 N/mm<sup>2</sup>

Compressão Perpendicular 12 N/mm<sup>2</sup>

## APTIDÃO AO ACABAMENTO

Acabamento sem grandes dificuldades.

Boa recepção a ceras, velaturas e tintas, e aceitável aos vernizes. Os vernizes duros são pouco apropriados dada a tendência da madeira para fender.

## APLICAÇÕES

Mobiliário, marcenaria, carpintaria de interiores e decorativa, tanoaria de envelhecimento, folha, painéis, construção naval, carroçaria de transporte, portas e janela exteriores.

# FAIA

## NOME BOTÂNICO

*Fagus sylvatica* L.



## NOMES COMERCIAIS

Faia, Fayard hêtre, European Beech, Haya.

## ORIGEM

Europa (Portugal, Alemanha, França, Dinamarca, Inglaterra, Reino Unido), Roménia, Japão, Brasil.

## DESCRIÇÃO GERAL

Madeira moderadamente pesada a pesada, semi-dura, grão fino. Fio direito. Textura suave e fraca.

A madeira do cerne não se diferencia do borne, a cor varia do branco alaranjado a rosado mais ou menos intenso, raios lenhosos visíveis à vista. Facilmente impregnável.

Durável à acção de fungos e sensível aos insectos, térmitas e xilófagos.

## CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

### Propriedades Físicas

Massa Volúmica (12%) 690 – 710 - 750

Retracção

Radial 5,0 – 8,0 %

Tangencial 12,0 – 15,0 %

Volumétrica 18,6 – 24,6 %

### Propriedades Mecânicas

Flexão Estática 90 – 166 N/mm<sup>2</sup>

Módulo de Elasticidade 12300 – 16400 N/mm<sup>2</sup>

Compressão Axial 52 – 64 N/mm<sup>2</sup>

Compressão Perpendicular 12 N/mm<sup>2</sup>

## APTIDÃO AO ACABAMENTO

Acabamento com tintas e vernizes sem dificuldades.

## APLICAÇÕES

Parquet, mobiliário, folheados, contraplacados, carpintaria interior, brinquedos, cabos de ferramentas.

# JATOBÁ

## NOME BOTÂNICO

*Hymenaea courbaril* L.,

*Hymenaea stillbocarpa* Hayne.



## NOMES COMERCIAIS

Jatobá, Jataí, Courbaril.

## ORIGEM

América do Sul e Central (Bolívia, Brasil, Caraíbas e Antilhas, México, Peru, Venezuela, Paraguai), França, Grã-Bretanha.

## DESCRIÇÃO GERAL

Madeira pesada, dura, grão fino a médio. Fio direito. Fibra recta que por vezes pode apresentar-se espiralado.

A durabilidade varia de média a muito durável.

Borne de cor branco rosado e cerne varia de bege pardo rosado a pardo roxo. Raios lenhosos visíveis. Cerne pouco impregnável.

Resistente à acção de fungos e térmitas.

## CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

### Propriedades Físicas

Massa Volúmica (12%) 955 - 970

Retracção

Radial 3,7 – 3,9 %

Tangencial 7,3 – 7,8 %

Volumétrica 12,3 %

### Propriedades Mecânicas

Flexão Estática 198 – 206 N/mm<sup>2</sup>

Módulo de Elasticidade 16700 – 21830 N/mm<sup>2</sup>

Compressão Axial 97 – 107 N/mm<sup>2</sup>

Compressão Perpendicular 11 - 14 N/mm<sup>2</sup>

## APTIDÃO AO ACABAMENTO

O acabamento não apresenta dificuldades.

## APLICAÇÕES

Pavimentos, carpintaria interior e exterior, soalhos, escadas, mobiliário, contraplacados, folheados, travessas de caminho de ferro, painéis decorativos, construção naval.



# CÂMBALA

## NOME BOTÂNICO

*Milicia excelsa* (Welw.) C. C. Berg,

*Milicia regia* (A. Chev.) C. C. Berg.



## NOMES COMERCIAIS

Câmbala, Iroko.

## ORIGEM

África – Angola, Camarões, Costa do Marfim, Gabão, Gana, Guiné, Libéria, Moçambique, Nigéria, Serra Leoa, Uganda, Quênia.

## DESCRIÇÃO GERAL

Madeira semi-pesada, semi-dura e pouco nervosa. Grão médio a grosseiro. Fio geralmente a direito. Textura fina.

Borne amarelo pálido ou branco amarelado e cerne castanho amarelado que vai escurecendo com a exposição à luz. Borne facilmente impregnável mas o cerne não é impregnável.

Resistente aos fungos e insectos, mas sensível aos xilófagos marinhos.

## CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

### Propriedades Físicas

Massa Volúmica (12% H)	630 – <u>650</u> – 670 kg/m <sup>3</sup>
Retracção	
Radial	3,5 – 3,7 %
Tangencial	5,5 – 5,8 %
Volumétrica	10,0 %

### Propriedades Mecânicas

Flexão Estática	96 – 120 N/mm <sup>2</sup>
Módulo de Elasticidade	9500 – 13000 N/mm <sup>2</sup>
Compressão Axial	50 – 70 N/mm <sup>2</sup>
Compressão Perpendicular	–

## APTIDÃO AO ACABAMENTO

Utilizar produtos sem óleos secativos.

Não existe nenhum inconveniente com a aplicação de tintas ou vernizes à base de resinas sintéticas modificadas com poliuretanos, vinílicas ou vernizes de poliuretano que secam por reacção química. Estes produtos podem servir como isolantes à aplicação de outros (à base de óleos secativos)

Para melhor acabamento deve ser utilizado previamente um tapa-poros.

## APLICAÇÕES

Carpintaria de interiores e exteriores, portas, soalhos, escadarias, construção naval, pontes, mobiliário, tornos e marcenaria.

# MOGNO



## NOME BOTÂNICO

*Khaya ivorensis* A. Chev.,

*Khaya anthoteca* (Welw.) C.DC

*Khaya grandifolia* C. DC.

## NOMES COMERCIAIS

Mogno Africano, Acajou d' Afrique, African Mahogany.

## ORIGEM

África (Nigéria, Camarões).

## DESCRIÇÃO GERAL

Madeira moderadamente pesada, de dureza média. Grão fino. Textura média, uniforme, fio direito.

Borne esbranquiçado ou branco amarelado. Cerne rosado que ao longo do tempo se torna castanho avermelhado. Borne pouco impregnável e o cerne não é impregnável.

Moderadamente durável à acção de fungos.

## CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

### Propriedades Físicas

Massa Volúmica (12% H) 630 – 650 – 670 kg/m<sup>3</sup>

Contração

Radial 3,5 – 3,7 %

Tangencial 5,5 – 5,8 %

Volumétrica 10,0 %

### Propriedades Mecânicas

Flexão Estática 96 – 120 N/mm<sup>2</sup>

Módulo de Elasticidade 9500 – 13000 N/mm<sup>2</sup>

Compressão Axial 50 – 70 N/mm<sup>2</sup>

Compressão Perpendicular –

## APTIDÃO AO ACABAMENTO

Aplicar tapa-poros antes do produto final.

## APLICAÇÕES

Carpintaria interior e exteriores, mobiliário, construção naval, esculturas, instrumentos musicais.

# TOLA



## NOME BOTÂNICO

*Gossweileroden balsamiferum* (Verm.) Harms.

## NOMES COMERCIAIS

Tola Branca, Tola, Agba.

## ORIGEM

África – Angola, Congo, Gabão, Nigéria, Zaire.

## DESCRIÇÃO GERAL

Madeira moderadamente pesada. Grão médio a grosseiro. Fio que pode ser direito ou ligeiramente espiralado. Textura uniforme.

Borne branco pálido, cerne rosado que vai escurecendo com a luz. Cerne pouco impregnável e borne impregnável.

Resistente aos fungos, atacado pelos insectos e xilófagos, sensível às térmitas.

## CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

### Propriedades Físicas

Massa Volúmica (12% H) 480 – 500 – 510 kg/m<sup>3</sup>

Retracção

Radial 2,3 – 2,4 %

Tangencial 5,5 – 5,7 %

Volumétrica 8,3 %

### Propriedades Mecânicas

Flexão Estática 63 – 85 N/mm<sup>2</sup>

Módulo de Elasticidade 6500 – 9500 N/mm<sup>2</sup>

Compressão Axial 33 – 42 N/mm<sup>2</sup>

Compressão Perpendicular –

## APTIDÃO AO ACABAMENTO

As exsudação de resina junto aos nós pode provocar problemas

## APLICAÇÕES

Carpintaria interior (molduras) e exteriores, marcenaria, mobiliário, contraplacados, construção naval.

# CASTANHO

## NOME BOTÂNICO

*Castanea sativa* Mill.

## NOMES COMERCIAIS

Castanho, Châtaignier, Sweet Chesnut.

## ORIGEM

Europa – França, Espanha, Portugal.

## DESCRIÇÃO GERAL

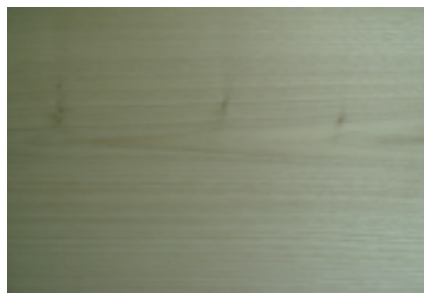
Madeira semi-pesada, semi-dura e ligeiramente dura. Grão médio a grosseiro. Fio direito. Textura média.

Borne branco amarelado e cerne mais ou menos castanho escuro. Anéis de crescimento bem definidos. O cerne não é impregnável e o borne é pouco impregnável

Boa durabilidade.

Resistente a fungos, sensível aos carunchos pequenos e medianamente às térmitas

Devido ao elevado teor em ácidos provoca a corrosão de metais devido à presença de taninos ocasionando manchas.



## CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

### Propriedades Físicas

Massa Volúmica (12% H) 540 – 590 – 650 kg/m<sup>3</sup>

Retracção

Radial 3,2 – 4,3 %

Tangencial 4,9 – 6,6 %

Volumétrica 8,2 - 11 %

### Propriedades Mecânicas

Flexão Estática 63 – 79 N/mm<sup>2</sup>

Módulo de Elasticidade 8200 – 12600 N/mm<sup>2</sup>

Compressão Axial 40 – 52 N/mm<sup>2</sup>

Compressão Perpendicular 7,8 N/mm<sup>2</sup>

## APTIDÃO AO ACABAMENTO

Aplicar previamente tapa-poros. Boa recepção de velaturas e tintas. Delicado ao envernizamento (presença de taninos).

## APLICAÇÕES

Estruturas e carpintarias exteriores (caixilharias e portas), mobiliário, soalhos, tanoaria de envelhecimento, construção naval.

# IPÊ

## NOME BOTÂNICO

*Tabebuia ipe* (Mart.) Standl,

*Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nichols.



## NOMES COMERCIAIS

Ipê, Ipe-preto, Pau d' Arco, Ipé.

## ORIGEM

América Central e d Sul - Bolívia, Brasil, Bolívia, Colômbia, Panamá, Paraguai, Peru, Venezuela.

## DESCRIÇÃO GERAL

Madeira pesada, dura. Grão fino a médio. Fio espiralado. Textura fina.

Borne branco amarelado e cerne castanho azeitona a castanho mais escuro. Madeira do cerne pouco impregnável.

Resistente a fungos, insectos e térmitas.

## CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

### Propriedades Físicas

Massa Volúmica (12% H) 680 – 1050 kg/m<sup>3</sup>

Retracção

Radial 5,1 – 5,2 %

Tangencial 6,4 – 6,5 %

Volumétrica –

### Propriedades Mecânicas

Flexão Estática 184 N/mm<sup>2</sup>

Módulo de Elasticidade 18300 – 18800 N/mm<sup>2</sup>

Compressão Axial 95 N/mm<sup>2</sup>

Compressão Perpendicular –

## APTIDÃO AO ACABAMENTO

Pequenos depósitos amarelo esverdeados nos poros podem dificultar a aplicação de vernizes e tintas, pelo que se deve aplicar previamente tapa-poros.

## APLICAÇÕES

Carpintaria interior e exterior, marcenaria, instrumentos musicais, construção naval, portas, obras hidráulicas, travessas de caminhos-de-ferro, folheados decorativos.

# SUCUPIRA

## NOME BOTÂNICO

*Bowdichia nitida* Benth.,

*Diploptropis purpurea* Amsh.



## NOMES COMERCIAIS

Sucupira, Coeur dehors.

## ORIGEM

América do Sul - Colômbia, Brasil, Peru, Venezuela.

## DESCRIÇÃO GERAL

Madeira muito pesada, muito dura. Grão médio. Fio direito ou espiralado. Textura de fina a grosseira.

Borne de branco acinzentado a branco amarelado e cerne pardo escuro a pardo avermelhado podendo apresentar algumas estrias mais claras. A madeira do cerne não é impregnável.

Boa resistência a fungos e insectos e muito boa a térmitas, mas atacável pelos xilófagos marinhos.

## CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

### Propriedades Físicas

Massa Volúmica (12% H)	915 kg/m <sup>3</sup>
Retracção	
Radial	4,9 – 5,1 %
Tangencial	7,1 – 7,6 %
Volumétrica	13,6 %

### Propriedades Mecânicas

Flexão Estática	156 – 197 N/mm <sup>2</sup>
Módulo de Elasticidade	18000 N/mm <sup>2</sup>
Compressão Axial	88 N/mm <sup>2</sup>
Compressão Perpendicular	8,2 15,8 N/mm <sup>2</sup>

## APTIDÃO AO ACABAMENTO

Aplicar tapa-poros antes do produto final.

## APLICAÇÕES

Pavimentos, lambris, mobiliário, contraplacados decorativos, escadarias, carpintaria exterior, construção naval, vigas.

# TATAJUBA

## NOME BOTÂNICO

*Bagassa guianensis* Aubl.

## NOMES COMERCIAIS

Bagasse, Tatajuba

## ORIGEM

América do Sul - Brasil.



## DESCRIÇÃO GERAL

Madeira pesada, dura. Grão médio a grosseiro. Fio direito ou espiralado. Textura fina.

A durabilidade varia de média a muito durável.

Borne bem distinto, branco amarelado. Cerne amarelado que cm a luz se converte em castanho escuro.

A madeira do cerne é pouco impregnável.

Muito resistente à acção dos fungos, resistente às térmitas e ligeiramente resistente aos xilófagos..

## CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

### Propriedades Físicas

Massa Volúmica (12% H) 740 - 880 kg/m<sup>3</sup>

Retracção

Radial 3,7 %

Tangencial 5,2 – 5,5 %

Volumétrica 11 %

### Propriedades Mecânicas

Flexão Estática 121 – 147 N/mm<sup>2</sup>

Módulo de Elasticidade 17300 – 17700 N/mm<sup>2</sup>

Compressão Axial 78 N/mm<sup>2</sup>

Compressão Perpendicular 11,6 N/mm<sup>2</sup>

## APTIDÃO AO ACABAMENTO

Acabamento não apresenta dificuldades.

## APLICAÇÕES

Carpintaria de interior e exteriores, construção naval, pavimentos.

# WENGÉ

## NOME BOTÂNICO

*Millettia laurentii* De Wild.,

*Millettia pendula* Benth De Wild.



## NOMES COMERCIAIS

Wengé, Jambire, Wenge, Panga-Panga.

## ORIGEM

África – Camarões, Gabão, Moçambique, Tanzânia, Zimbabwe

## DESCRIÇÃO GERAL

Madeira pesada, dura a muito dura. Grão grosseiro. Fio direito.

Borne esbranquiçado ou amarelo claro. Cerne varia de pardo escuro a negro avioletado.

Durável à acção dos fungos e térmitas.

Resistente aos ácidos.

## CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

### Propriedades Físicas

Massa Volúmica (12% H) 780 – 830 – 900 kg/m<sup>3</sup>

Retracção

Radial 5,9 – 6,3 %

Tangencial 9,1 – 10,0 %

Volumétrica –

### Propriedades Mecânicas

Flexão Estática 125 – 200 N/mm<sup>2</sup>

Módulo de Elasticidade 16700 – 17700 N/mm<sup>2</sup>

Compressão Axial 74– 85 N/mm<sup>2</sup>

Compressão Perpendicular –

## APTIDÃO AO ACABAMENTO

Para acabamentos recomenda-se produtos à base de cera.

## APLICAÇÕES

Carpintaria interior e exterior, escadaria, marcenaria, esculturas, construção naval, pontes, vigas, pilares, mobiliário.



# MUTENE

## NOME BOTÂNICO

*Guibourtia arnoldiana (De Wild.&Th Dur) J. Léonard*



## NOMES COMERCIAIS

Mutene, Mutenye, Mutényé.

## ORIGEM

África – Angola, Camarões, Costa do Marfim, Gabão, Gana, Guiné, Moçambique.

## DESCRIÇÃO GERAL

Madeira moderadamente pesada e moderadamente dura. Grão fino a grosseiro. Fio direito. Textura fina.

Borne branco acinzentado e cerne castanho amarelado a castanho com veios em estrias castanho claras. Borne impregnável e cerne não impregnável.

Durabilidade moderada a fungos, insectos e térmitas.

## CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

### Propriedades Físicas

Massa Volúmica (12% H) 760 – 820 – 880 kg/m<sup>3</sup>

Retracção

Radial 4,8 – 5,3 %

Tangencial 8,7 – 9,6 %

Volumétrica 11,7 %

### Propriedades Mecânicas

Flexão Estática 194 N/mm<sup>2</sup>

Módulo de Elasticidade 18200 N/mm<sup>2</sup>

Compressão Axial 79 N/mm<sup>2</sup>

Compressão Perpendicular –

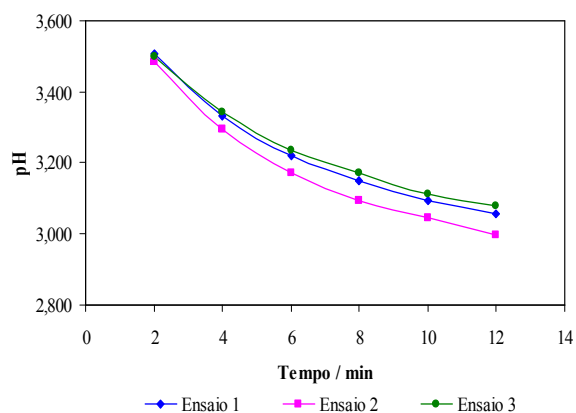
## APTIDÃO AO ACABAMENTO

Sem dificuldades particulares de acabamento.

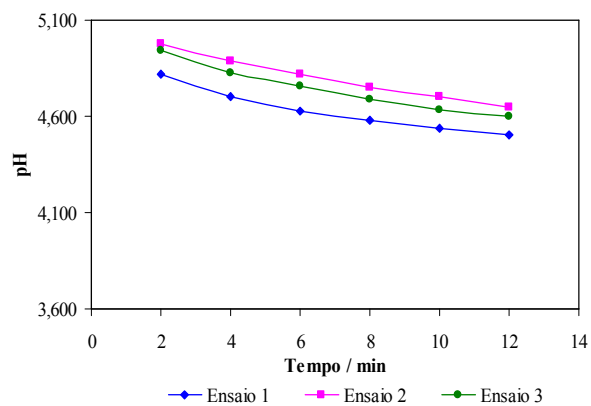
## APLICAÇÕES

Parquets, pavimentos, carpintaria interior e exterior, decoração de interiores, escadarias, esculturas, marcenaria pesada, mobiliário, contraplacados.

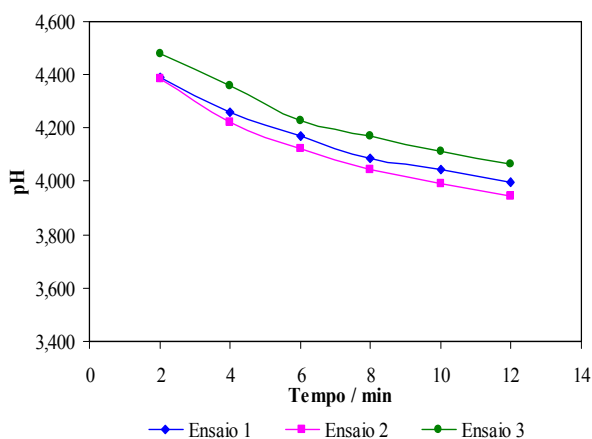
## Anexo 2. Cinética de Variação do pH de superfície



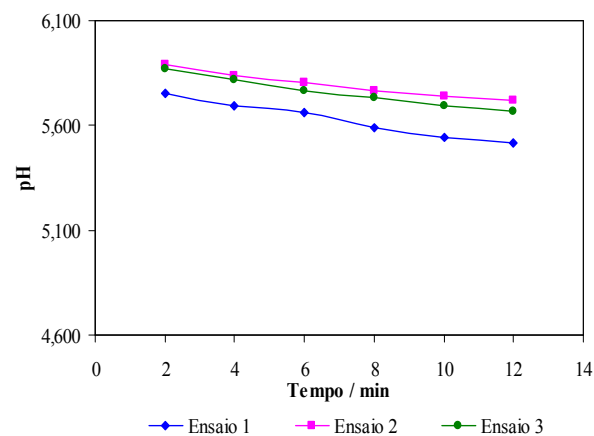
**Figura A2.1.** Cinética de variação de pH de superfície para o Carvalho.



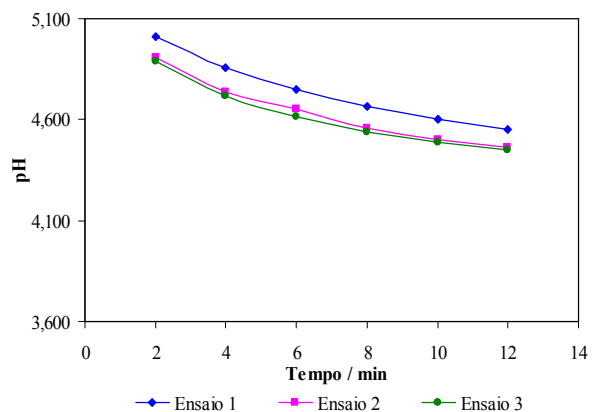
**Figura A2.2.** Cinética de variação de pH de superfície para o Faia.



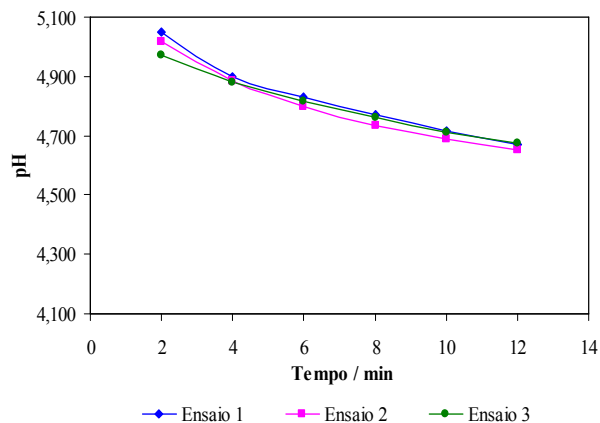
**Figura A2.3.** Cinética de variação de pH de superfície para o Jatobá.



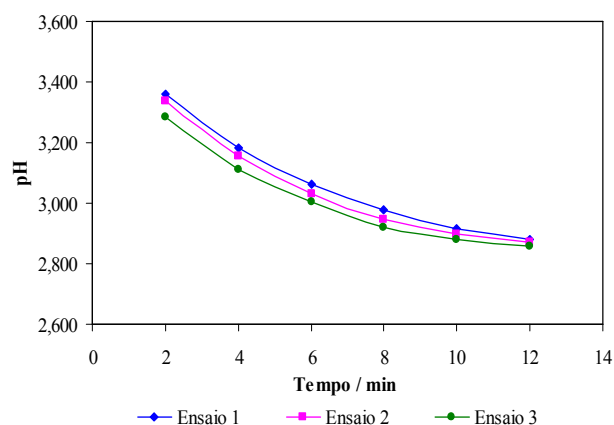
**Figura A2.4.** Cinética de variação de pH de superfície para o Câmbala.



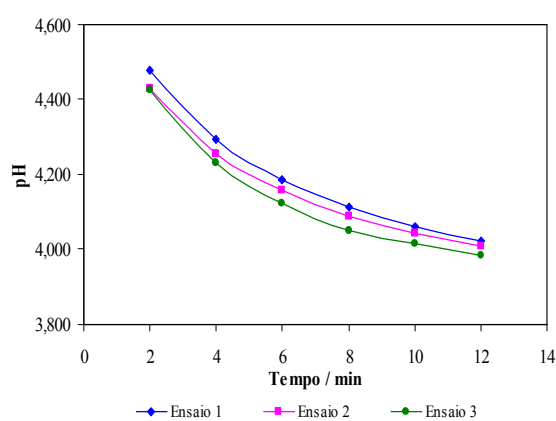
**Figura A2.5.** Cinética de variação de pH de superfície para o Mogno.



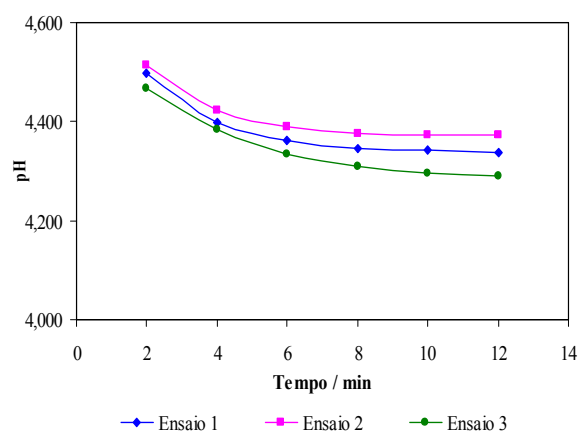
**Figura A2.6.** Cinética de variação de pH de superfície para a Tola.



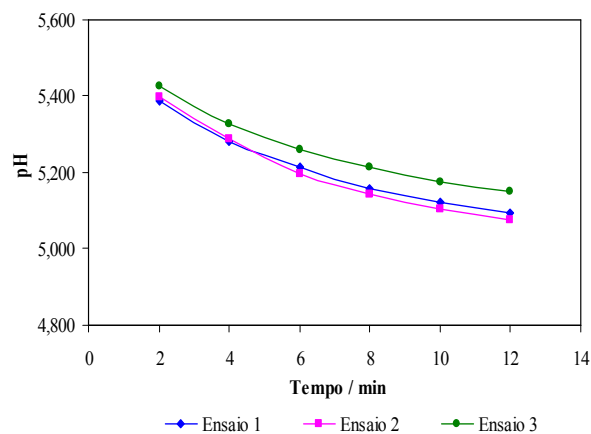
**Figura A2.7.** Cinética de variação de pH de superfície para o Castanho.



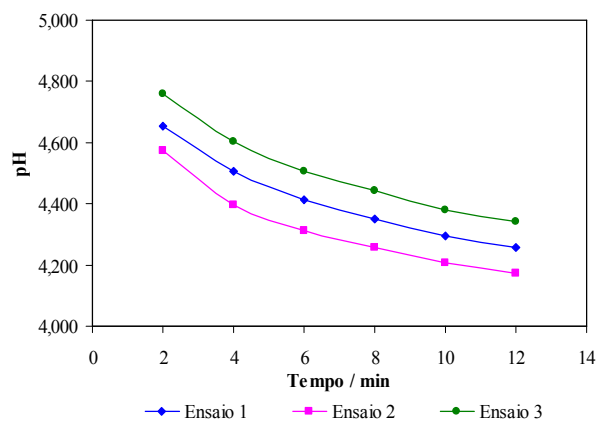
**Figura A2.8.** Cinética de variação de pH de superfície para o Ipê.



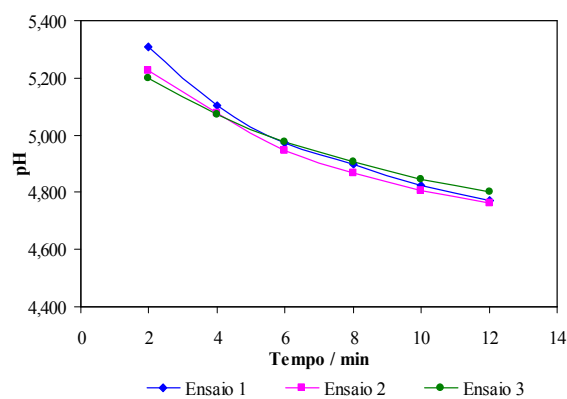
**Figura A2.9.** Cinética de variação de pH de superfície para a Sucupira.



**Figura A2.10.** Cinética de variação de pH de superfície para a Tatajuba.



**Figura A2.11.** Cinética de variação de pH de superfície para o Wengé.



**Figura A2.12.** Cinética de variação de pH de superfície para o Mutene.

## Anexo 3. Rugosidade

Os dados experimentais da determinação dos parâmetros Ra e Rz de rugosidade e os resultados da análise do teste t-student para comparação das diferenças entre as faces das placas são apresentados nas tabelas seguintes para cada espécie de madeira.

**Tabela A3.1.** Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Afzélia.

		FACE 1				FACE 2			
		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio	
		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
PLACA LIXADA		1,87	14,2	8,16	50,0	1,94	12,4	8,26	61,5
		2,20	16,1	13,07	79,5	1,78	14,5	9,64	57,6
		2,64	21,0	11,47	68,4	2,86	22,5	9,01	56,6
		2,23	15,7	9,74	71,2	4,84	29,9	7,4	50,8
		2,66	17,5	11,83	67,5	2,13	14,3	10,4	55,8
		3,57	20,0	9,16	56,6	2,82	16,1	9,84	71
								8,38	56,1
								7,39	48,8
	Média	2,53	17,42	10,57	65,53	2,73	18,28	8,79	57,28
	Desvio Padrão	0,59	2,63	1,85	10,59	1,13	6,67	1,12	6,80
PLACA NÃO LIXADA		2,22	15,5	12,18	65,4	4,21	29	10,04	59,2
		1,52	11,7	8,68	55,9	2,25	16,9	9,97	56,2
		2,03	12	11,84	63,9	2,85	19,3	8,08	50,2
		2,82	17,5	11,08	69,1	2,62	16,6	11,05	67,2
		2,62	16,9	11,06	59,1	4,65	27,9	10,71	66,8
		3,18	19,1	9,76	54,7	2,39	21,8	10,92	62,5
								10,55	66,1
								8,2	50,4
	Média	2,40	15,45	10,77	61,35	3,16	21,92	9,94	59,83
	Desvio Padrão	0,60	3,02	1,32	5,69	1,01	5,41	1,17	7,02

**Tabela A3.2.** Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Afzélia.

		DIRECÇÃO DO VEIO				DIRECÇÃO PERPENDICULAR AO VEIO			
		Ra (µm)		Rz (µm)		Ra (µm)		Rz (µm)	
		Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2
PLACA LIXADA	t-student calculado	0,7085		0,7731		0,1238		0,2257	
	GL	10		10		10		12	
	t-student tabelado	2,228		2,228		2,228		2,179	
	para 95% confiança - TINV								
PLACA NÃO LIXADA	t-student calculado	0,1428		0,0285		0,2395		0,6715	
	GL	10		10		12		12	
	t-student tabelado	2,228		2,228		2,179		2,179	
	para 95% confiança - TINV								

---

57

		FACE 1				FACE 2			
		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio	
		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
PLACA LIXADA		3,73	29,8	5,64	36,4	1,75	12,0	8,04	47,9
		5,76	33,2	5,96	38,8	1,70	11,4	6,78	47,7
		3,28	24,6	4,99	33,8	2,95	17,8	10,44	60,9
		3,23	22,4	5,58	38,1	3,01	21,7	10,08	61,6
		2,61	20,2	4,23	31	2,82	18,2	8,32	51,7
		2,15	14,7	5,72	40,1	3,70	22,8	8,01	48,6
		3,01	18,8	5,53	35,1	2,22	16,0	8,02	47,6
				5,47	34,7	2,12	15,6		
Média	3,40	23,39	5,39	36,00	2,53	16,94	8,53	52,29	
	Desvio Padrão	1,16	6,41	0,54	2,97	0,70	4,09	1,29	6,29
PLACA NÃO LIXADA		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
		1,26	11,9	8,97	50,2	3,06	18,5	6,15	42
		3,65	21,3	7,94	43,9	2,65	18,1	8,91	49,7
		1,59	10,2	8,37	49,6	2,38	15,7	10,61	61,6
		2,62	18,2	7,05	37,7	3,51	18	6,3	41
		2,18	16,3	6,32	43,7	1,86	13,7	6,3	41
		3,04	20,2	6,22	39,3	2,09	12,8	5,94	35,7
		3,16	21,6	6,79	46,5	2,09	13,6	5,24	37,9
		2,46	15,7			1,94	13,2	9,05	48,7
		2,04	15,6			2,47	15,2		
						3,1	20,5		
						2,24	14,4		
Média	2,44	16,78	7,38	44,41	2,49	15,79	7,31	44,70	
	Desvio Padrão	0,77	3,99	1,06	4,77	0,53	2,59	1,93	8,35

**Tabela A3.4.** Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Carvalho.

		DIRECÇÃO DO VEIO				DIRECÇÃO PERPENDICULAR AO VEIO			
		Ra (µm)		Rz (µm)		Ra (µm)		Rz (µm)	
		Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face1	Face 2
PLACA LIXADA	t-student calculado	0,0998		0,0348		0,0000270		0,0000181	
	GL	13		13		13		13	
	t-student tabelado	2,160		2,160		2,160		2,160	
	para 95% confiança - TINV								
PLACA NÃO LIXADA	t-student calculado	0,8776		0,5122		0,9358		0,9378	
	GL	18		18		13		13	
	t-student tabelado	2,101		2,101		2,160		2,160	
	para 95% confiança - TINV								

Tabela A3.5. Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Faia.

		FACE 1				FACE 2			
		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio	
		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
PLACA LIXADA		5,88	38,7	10,74	62,3	3,23	22,4	8,73	51,9
		2,27	15,2	11,64	74	4,11	30,5	11,06	66,6
		2,97	19,5	8,89	59,9	3,18	20,3	11,23	73,8
		4,23	25,4	12,25	83,8	3,34	22	12,08	81,3
		2,1	14	8,04	57,6	3,38	19,6	8,00	57,0
		2,88	19,9			2,74	19,5		
		2,65	17,3			5,98	31,1		
		2,87	18,5			3,21	22,2		
		2,81	19,4			2,58	18,2		
		3,43	18,3			1,93	16,8		
						2,45	16,7		
						3,1	22,1		
	Média	3,21	20,62	10,31	67,52	3,27	21,78	10,22	66,12
	Desvio Padrão	1,11	7,05	1,79	11,08	1,02	4,66	1,76	11,99
PLACA NÃO LIXADA		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
		2,72	15,5	11,19	63,4	3,14	19,2	9,14	55,4
		1,86	11,9	5,54	42	1,97	17	14,99	84
		4,02	22,5	10,39	71	3,47	20,6	9,17	51,9
		1,71	11,1	9,33	59,6	2,46	15,8	11,67	66,2
		2,32	13,5			1,59	10,6		
		1,71	10,9			4,09	23,5		
		2,24	14,1			3,16	19,4		
		2,98	16,8			4,11	20,8		
		2,4	15,1						
	Média	2,44	14,60	9,11	59,00	3,00	18,36	11,24	64,38
	Desvio Padrão	0,74	3,59	2,50	12,28	0,93	3,92	2,77	14,43

Tabela A3.6. Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Faia.

		DIRECÇÃO DO VEIO				DIRECÇÃO PERPENDICULAR AO VEIO			
		Ra (µm)		Rz (µm)		Ra (µm)		Rz (µm)	
		Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2
PLACA LIXADA	t-student calculado	0,8957		0,6478		0,9367		0,8527	
	GL	20		20		8		8	
	t-student tabelado	2,086		2,086		2,306		2,306	
	para 95% confiança - TINV								
PLACA NÃO LIXADA	t-student calculado	0,1865		0,0566		0,2967		0,5911	
	GL	15		15		6		6	
	t-student tabelado	2,131		2,131		2,447		2,447	
	para 95% confiança - TINV								

**Tabela A3.7.** Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Jatobá.

		FACE 1				FACE 2			
		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio	
PLACA LIXADA		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
		2,99	19,4	6,23	45,1	2,8	17,7	7,21	48,3
		2,89	16,3	6,82	52,8	2,10	15,1	11,21	63,6
		2,72	18,3	7,77	47,5	1,69	11,9	6,09	42,1
		3,37	23,3	7,93	49,8	2,17	14,1	9,09	43,5
		2,4	17,3	7,05	43	1,69	11,1	5,23	35,1
		2,56	14,2	8,87	59,9	1,91	12,9		
		2,24	13			1,76	13,5		
		3,35	19,7			2,78	17,3		
		1,99	14,6			1,89	14,4		
Média	Desvio Padrão					3,48	22,8		
		2,72	17,34	7,45	49,68	2,23	15,08	7,77	46,52
PLACA NÃO LIXADA		0,48	3,23	0,94	6,08	0,60	3,43	2,41	10,65
		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
		3,3	21,4	7,65	53,5	2,11	16,1	4,98	29,5
		2,83	18,6	6,54	45	1,95	14,0	4,93	35,7
		2,74	17,7	6,90	43,4	2,12	13,4	5,35	34,2
		2,07	12,7	6,58	40,2	2,23	14,2	6,22	38,5
		3,02	18,5	8,39	51,3	2,40	16,6	8,43	54,9
		3,12	20,8	8,03	45,1	1,89	12,3	10,13	60,2
		2,47	20,2	6,70	43,4	2,37	16,2	11,38	64,5
		2,68	15,8			3,75	21,2		
Média	Desvio Padrão	3,77	23,1			2,45	16,8		
		3,17	19,2						
		2,92	18,80	7,26	45,99	2,36	15,64	7,35	45,36
		0,47	2,96	0,76	4,71	0,56	2,61	2,64	14,11

**Tabela A3.8.** Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Jatobá.

		DIRECÇÃO DO VEIO				DIRECÇÃO PERPENDICULAR AO VEIO			
		Ra (µm)		Rz (µm)		Ra (µm)		Rz (µm)	
PLACA LIXADA	t-student calculado GL	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2
		0,0638		0,1583		0,7688		0,5505	
		17		17		9		9	
PLACA NÃO LIXADA	t-student tabelado para 95% confiança - TINV	2,110		2,110		2,262		2,262	
		Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2
		0,0311		0,0254		0,9324		0,9128	
PLACA NÃO LIXADA	t-student calculado GL	17		17		12		12	
	t-student tabelado para 95% confiança - TINV	2,110		2,110		2,179		2,179	

**Tabela A3.9.** Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Câmbala.

		FACE 1				FACE 2			
		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio	
		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
<b>PLACA LIXADA</b>		2,48	16,7	6,96	51,6	2,83	17,6	8,21	53
		2,62	16,2	5,72	40,8	3,53	21,3	6,82	46,9
		2,52	18,1	7,71	49,4	3,14	17,5	9,2	66,4
		3,55	20,3	7,66	49,3	3,43	21,8	4,91	33
		3,21	26,6	6,38	46,3	5,75	34,1	4,53	32,9
		2,04	13,8	5,96	43,2	3,52	28	5,28	37,6
		3,21	19,1	9,31	52,4	4,2	24,9	4,94	31,9
		3,07	20,5	5,77	39,7	5,16	31,4	5,34	32,9
		1,94	14,7	11,6	61,5	3,06	19,6	7,7	51,3
		3,08	19			2,41	17,3		
		3,38	21,4			3,79	24,8		
		2,19	14,6						
		2,53	15,2						
		<b>Média</b>	<b>18,17</b>	<b>7,45</b>	<b>48,24</b>	<b>3,71</b>	<b>23,48</b>	<b>6,33</b>	<b>42,88</b>
		<b>Desvio Padrão</b>	<b>3,56</b>	<b>1,94</b>	<b>6,75</b>	<b>0,99</b>	<b>5,75</b>	<b>1,70</b>	<b>12,19</b>
<b>PLACA NÃO LIXADA</b>		<b>Ra (µm)</b>	<b>Rz (µm)</b>	<b>Ra (µm)</b>	<b>Rz (µm)</b>	<b>Ra (µm)</b>	<b>Rz (µm)</b>	<b>Ra (µm)</b>	<b>Rz (µm)</b>
		2,34	16,7	8,75	46,2	2,3	15,2	11,3	64,1
		2,6	16,9	8,97	64	3,27	19,2	12,55	66
		2,41	16	7,36	46,8	3,04	20,9	9,58	52
		2,44	18,4	6,91	46,1	2,92	17,8	13,7	69,5
		3,34	23,3	9,92	52,9	3	16,3	6,11	35
		1,77	13,4	9,26	54,6	2,44	13,2	11,8	61,1
		2,48	17,3	12,96	66,2	1,84	12	10,36	56,6
		2,49	15,9	9,49	52,4	2,82	18,3		
		2,34	14,9			2,7	17,3		
		2,28	14,3			4,00	23,5		
		3,42	20,3			4,81	28		
		2,9	18,7			1,69	10,3		
		2,99	19,3						
		<b>Média</b>	<b>17,34</b>	<b>9,20</b>	<b>53,65</b>	<b>2,90</b>	<b>17,67</b>	<b>10,77</b>	<b>57,76</b>
		<b>Desvio Padrão</b>	<b>2,68</b>	<b>1,84</b>	<b>7,81</b>	<b>0,87</b>	<b>4,94</b>	<b>2,46</b>	<b>11,62</b>

**Tabela A3.10.** Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Câmbala.

		DIRECÇÃO DO VEIO				DIRECÇÃO PERPENDICULAR AO VEIO			
		Ra (µm)		Rz (µm)		Ra (µm)		Rz (µm)	
		Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2
<b>PLACA LIXADA</b>	t-student calculado	0,0064		0,0112		0,2092		0,2647	
	GL	22		22		16		16	
	t-student tabelado	2,074		2,074		2,120		2,120	
	para 95% confiança - TINV								
<b>PLACA NÃO LIXADA</b>	t-student calculado	0,2795		0,8365		0,1818		0,4305	
	GL	23		23		13		13	
	t-student tabelado	2,069		2,069		2,160		2,160	
	para 95% confiança - TINV								



Tabela A3.11. Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Mogno.

		FACE 1				FACE 2			
		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio	
		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
PLACA LIXADA		3,85	25,9	9,71	63,6	3,69	26,7	11,41	75,1
		4,38	25,8	11,3	66,7	6,62	34,1	10,11	68,8
		3,71	28,0	11,95	79	3,09	31,1	13,96	85,5
		3,08	21,4	11,84	64,1	5,21	38	8,52	64,4
		5,64	35,7	14,81	82,4	3,87	24,5	12,11	66,4
		3,22	29,9	10,13	63,8	2,93	20	9,54	60,3
		3,66	23,9	10	66,1	4,62	27,8	12,67	80,6
		2,08	14,6	15,86	90,8	5,93	35	10,4	59,4
		3,09	21,8	10,35	61,2	4,55	31,7	8,83	52,4
		2,59	17,1			3,85	26,4	10,06	55,8
		3,79	25,6			4,13	22,7		
		3,13	19,8			4,44	26,6		
		4,33	33,5			4,92	29,1		
		4,51	28,8			3,95	26,5		
		6,18	35,3			2,5	19,1		
						5,05	31		
						2,53	16,4		
						2,54	17,7		
						3,4	20,3		
	Média	3,82	25,81	11,77	70,86	4,10	26,56	10,76	66,87
	Desvio Padrão	1,08	6,29	2,19	10,48	1,15	6,11	1,75	10,77
PLACA NÃO LIXADA		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
		3,03	18,4	12,89	67,9	3,52	22,5	9,73	61,8
		3	19,1	12,19	76,7	4,09	24,7	10,37	61,5
		3,92	21,4	12,25	71,3	4,13	30,4	13,06	72,1
		3,35	24	12,89	74,6	4,25	25,3	10,7	61,2
		4,01	26,1	14,38	71,5	4,29	29,4	11,82	76,9
		2,73	20	12,76	77,4	4,2	30	12,59	69,3
		2,26	15,1	10,61	71,9	3,35	23,9	14,19	74,8
		3,93	24,2			5,64	32,7	12,54	72,4
		3,17	23,2			4,15	29,2		
		2,96	17,8			2,98	20,5		
		2,8	18,6			4,33	30,5		
						3,28	21,8		
						4,73	24,9		
	Média	3,20	20,72	12,57	73,04	4,07	26,60	11,88	68,75
	Desvio Padrão	0,56	3,34	1,13	3,37	0,69	3,93	1,51	6,39

Tabela A3.12. Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Mogno.

		FACE 1				FACE 2			
		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio	
		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
PLACA LIXADA	Média	3,82	25,81	11,77	70,86	4,10	26,56	10,76	66,87
	Desvio Padrão	1,08	6,29	2,19	10,48	1,15	6,11	1,75	10,77
PLACA NÃO LIXADA	Média	3,20	20,72	12,57	73,04	4,07	26,60	11,88	68,75
	Desvio Padrão	0,56	3,34	1,13	3,37	0,69	3,93	1,51	6,39

Tabela A3.13. Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Tola.

		FACE 1				FACE 2			
		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio	
		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
PLACA LIXADA		2,46	17,3	7,8	60,6	2,06	17,6	7,66	54,2
		2,58	20,7	6,73	43,1	3,07	26,1	8,82	54,3
		2,72	30,1	5,34	34,6	2,42	16	9,1	62
		3,79	33,5	6,63	43,3	3,28	21,1	8,6	47,4
		3,75	21,5	5,43	39	3,03	21,1	7,49	58
		3,07	23,8	8,67	59,2	3,05	22,2	7,61	63,8
		2,72	19,1	8,02	59,1	4,19	33,4	7,34	51,7
		2,81	16,3	6,84	43,6	2,23	15,6	7,8	58,5
		2,69	16,9	6,37	41	4,08	27,9	6,78	48,4
		2,81	16,7	6,67	48,4	4,8	35,9	6,08	41
		2,36	19,5	8,81	57,9	2,58	17,8		
		3,5	25,1	6,47	39	2,96	19,5		
		2,76	18,8	8,66	55,9	2,46	19,8		
		4,4	30,5			3,91	28,2		
		5,34	35,9						
	Média	3,18	23,05	7,11	48,05	3,15	23,01	7,73	53,93
	Desvio Padrão	0,83	6,52	1,18	9,24	0,82	6,36	0,92	7,04
PLACA NÃO LIXADA		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
		2,47	16,9	8,46	56,9	2,68	21,5	7,67	51,1
		3,87	27,4	9,44	65,9	2,99	18,8	6,33	45,7
		2,45	15,7	6,97	50,5	4,58	31,2	6,94	46,6
		3,98	25,5	10,78	66,4	3,26	24,3	9,61	64,4
		3,56	22,6	7,83	44,8	2,08	12,1	9,38	64,8
		6,62	3,3	7,77	46	3,91	25,4	9,27	58,7
		3,84	23	9,73	63,1	5,03	30,4	8,86	54,5
		4,06	27,5	9,64	59,5	3,01	18,8	10,18	60,5
		3,38	24,2	8,42	66,1	3,41	23,3	8,99	51,6
		2,55	16,6			3,27	22,3	7,1	47,1
		3,49	21,5			2,74	21,5		
		2,23	14,2			5,25	31,1		
		3,33	31,5			4,06	25,4		
		2,33	17,2			3,79	27,8		
		2,07	13,3			2,79	21,7		
	Média	3,35	20,03	8,78	57,69	3,52	23,71	8,43	54,50
	Desvio Padrão	1,14	7,14	1,20	8,67	0,91	5,19	1,31	7,24

Tabela A3.14. Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Tola.

		DIRECÇÃO DO VEIO				DIRECÇÃO PERPENDICULAR AO VEIO			
		Ra (µm)		Rz (µm)		Ra (µm)		Rz (µm)	
		Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2
PLACA LIXADA	t-student calculado	0,9161		0,9893		0,1867		0,1098	
	GL	27		27		21		21	
	t-student tabelado	2,052		2,052		2,080		2,080	
	para 95% confiança - TINV								
PLACA NÃO LIXADA	t-student calculado	0,6467		0,1177		0,5547		0,3947	
	GL	28		28		17		17	
	t-student tabelado	2,048		2,048		2,110		2,110	
	para 95% confiança - TINV								

Tabela A3.15. Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Castanho.

		FACE 1				FACE 2			
		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio	
		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
PLACA LIXADA		2,19	14,5	7,76	45,1	2,25	12,5	11,22	69,3
		2,39	14,2	8,71	56,1	2,48	16	6,45	41,4
		1,84	10,0	6,80	41,1	1,32	13,3	4,98	32,7
		2,5	15,3	4,96	30,1	2,82	17,4	7,25	41,7
		2,88	17	10,07	53	2,99	19,1	6,87	42,6
		3,1	16,9	7,43	48,1	2,32	16,6	5,75	35,2
		2,46	14,7	6,27	38,4	2,44	14,5	5,83	35,7
		2,6	15,8	8,57	48,7	2,50	17,7	7,98	57,0
		1,92	14	7,52	42,3	1,40	10,8	5,59	36,0
		2,09	17,5	8,10	44,8	1,76	12,7	6,76	53,7
		2,19	13,0			1,61	10	5,00	42,2
		2,30	15,4			2,65	18,5	6,36	41,8
		1,89	12,6			2,92	17,7		
		2,39	15,3			2,31	14,5		
		2,91	17,3			2,21	14,8		
		<b>2,38</b>	<b>14,90</b>	<b>7,62</b>	<b>44,77</b>	<b>2,27</b>	<b>15,07</b>	<b>6,67</b>	<b>44,11</b>
		<b>0,38</b>	<b>2,01</b>	<b>1,41</b>	<b>7,44</b>	<b>0,53</b>	<b>2,81</b>	<b>1,69</b>	<b>10,72</b>
PLACA NÃO LIXADA		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
		6,96	10,8	6,96	42,2	2,09	12,6	5,77	34,5
		2,39	14,4	6,54	40,6	1,52	9,4	5,97	32,9
		3,28	18,1	5,50	33,5	2,20	13,4	8,36	56,7
		1,56	10,6	5,59	39,7	1,81	13,6	6	36,7
		2,37	12,5	6,78	42,8	2,03	12	6,02	37,3
		1,89	12,6	7,01	47,1	2,4	15,2	6,49	39,3
		2,38	15,1	5,66	37,4	2,14	12,7	10,22	65,6
		2,20	12,7	6,24	41,7	2,59	16,1	6,51	44,5
		2,87	19,3	6,78	42,5	2,07	13,2	6,64	41,4
		2,51	12,6	6,77	37,3	2,65	14,4	6,24	34,9
		2,22	13,2	6,05	33,9	2,16	13,5	6,4	42,2
		2,12	13,5	6,93	41,7	2,67	16,2	7,64	45,6
		2,31	14,6			2,45	14,6		
		1,91	14,1			2,68	17,3		
		2,30	13,0			2,09	13,1		
		2,10	12,3			3,32	17,8		
		<b>2,59</b>	<b>13,71</b>	<b>6,40</b>	<b>40,03</b>	<b>2,30</b>	<b>14,07</b>	<b>6,86</b>	<b>42,63</b>
		<b>1,23</b>	<b>2,31</b>	<b>0,57</b>	<b>3,92</b>	<b>0,42</b>	<b>2,12</b>	<b>1,30</b>	<b>9,70</b>

Tabela A3.16. Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Castanho.

		DIRECÇÃO DO VEIO				DIRECÇÃO PERPENDICULAR AO VEIO			
		Ra (µm)		Rz (µm)		Ra (µm)		Rz (µm)	
		Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2
PLACA LIXADA	t-student calculado	0,5120		0,8474		0,1733		0,8709	
	GL	28		28		20		20	
	t-student tabelado para 95% confiança - TINV	2,048		2,048		2,086		2,086	
PLACA NÃO LIXADA	t-student calculado	0,3941		0,6525		0,2785		0,3986	
	GL	30		30		22		22	
	t-student tabelado para 95% confiança - TINV	2,042		2,042		2,074		2,074	

Tabela A3.17. Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Ipê.

		FACE 1				FACE 2			
		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio	
		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
PLACA LIXADA		3,49	18,8	6,33	51,6	3,74	25,6	5,46	33,7
		2,38	15,2	4,95	34,5	2,35	13,9	6,65	44,3
		3,19	23	6,26	38,6	4,06	24,5	5,74	34,8
		2,38	16,3	6,98	45,7	3,62	22,3	5,89	36,7
		2,03	14,3	6,75	41,5	2,06	12,6	5,47	34,1
		3,01	16,4	5,12	32,5	2,02	13,0	5,61	33,5
		2,31	14,2	6,3	37,2	2,29	14,7	6,17	40,8
		1,7	13,2	5,17	29,7	2,51	17,5	5,86	37,3
		2,17	15,5	4,56	30,6	3,18	26,1	6,34	40,5
		2,78	20,8	4,42	29,5	2,25	14,6	5,93	38,3
		2,36	14,3	6,47	43,5	3,5	25,6	5,96	37,8
		3,76	22,1	4,42	29,5	2,25	15,1	5,49	36,7
		2,08	14,0	4,84	30,9	2,96	17		
		2,17	12,1	6,08	31,5	3,71	25,6		
		1,89	13,3			2,53	15,4		
		2,24	13			2,01	13,2		
	Média	2,50	16,03	5,62	36,20	2,82	18,54	5,88	37,38
	Desvio Padrão	0,59	3,37	0,92	7,05	0,71	5,34	0,37	3,27
PLACA NÃO LIXADA		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
		3,8	22,3	6,38	41,4	2,46	16	7,66	45,9
		4,37	25,2	6,85	46,3	2,21	12,5	6,43	39,7
		3,25	22,5	6,26	37,3	2,93	19,9	6,08	38,9
		2,48	18,7	6,29	38,5	3,13	21,7	6,95	39,9
		1,95	12,1	6,29	38,5	2,54	17,1	6,63	39,8
		3	18,4	7,16	45,5	2,96	19,8	6,48	38,5
		2,62	17,2	6,71	41,4	2,7	18	6,81	43,3
		2,19	14	6,43	45,2	1,86	11,8	8,44	47,8
		1,68	16,2	7,33	46,4	2,99	20,3	5,79	36,4
		4,38	27	7,25	46,4	2,81	20,8	7,11	47,3
		3,56	22,9	6,65	38,5	2,33	14,9	6,62	39
		3,08	21,6	6,44	40,3	3,05	22,2	6,61	42,2
		2,36	17,2			2,23	12,8		
		3,08	20,7			3,48	20,7		
						3,81	21,9		
	Média	2,99	19,71	6,67	42,14	2,77	18,03	6,80	41,56
	Desvio Padrão	0,84	4,21	0,39	3,59	0,51	3,62	0,70	3,73

Tabela A3.18. Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Ipê.

		DIRECÇÃO DO VEIO				DIRECÇÃO PERPENDICULAR AO VEIO			
		Ra (µm)		Rz (µm)		Ra (µm)		Rz (µm)	
		Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2
PLACA LIXADA	t-student calculado	0,1776		0,1220		0,3623		0,6012	
	GL	30		30		24		24	
	t-student tabelado para 95% confiança - TINV	2,042		2,042		2,064		2,064	
PLACA NÃO LIXADA	t-student calculado	0,3984		0,2567		0,5789		0,7001	
	GL	27		27		22		22	
	t-student tabelado para 95% confiança - TINV	2,052		2,052		2,074		2,074	

**Tabela A3.19.** Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Sucupira.

		FACE 1				FACE 2			
		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio	
		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
<b>PLACA LIXADA</b>		3,5	21,9	7,02	41,4	3,84	21,6	6,97	42,9
		2,87	17,5	6,97	46,1	3,81	23,1	6,53	47
		2,22	15,3	6,47	42,2	2,12	11,2	6,14	35,7
		3,79	20,4	7,03	42,7	3,83	25,7	7,43	46,5
		2,76	15,3	8,3	54,9	1,88	13,9	6,25	36,3
		3,83	26,5	8,57	50,8	3,76	24,7	5,61	37,4
		4,74	29,6	5,11	32,9	2,83	17,5	5,9	40,3
		3,36	21,6	7,7	49,9	2,74	16,7	5,36	37,4
		2,02	12	4,71	33	4,03	23,7	7,2	40,5
		2,27	20,9	7,65	47,6	2,92	20,4	4,66	31,9
		2,67	16			3,72	20,5	4,73	32,3
		2,24	16,7			2,07	12,2	5,84	36,7
		3,13	22			1,51	12		
		2,86	22,2			2,19	12,7		
		3,38	21,5						
	<b>Média</b>	<b>3,04</b>	<b>19,96</b>	<b>6,95</b>	<b>44,15</b>	<b>2,95</b>	<b>18,28</b>	<b>6,05</b>	<b>38,74</b>
	<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,74</b>	<b>4,58</b>	<b>1,25</b>	<b>7,25</b>	<b>0,88</b>	<b>5,18</b>	<b>0,89</b>	<b>4,88</b>
<b>PLACA NÃO LIXADA</b>		<b>Ra (µm)</b>	<b>Rz (µm)</b>	<b>Ra (µm)</b>	<b>Rz (µm)</b>	<b>Ra (µm)</b>	<b>Rz (µm)</b>	<b>Ra (µm)</b>	<b>Rz (µm)</b>
		3,06	19,6	7,79	51,5	3,02	19,5	6,44	37,9
		2,16	14	7,61	45,7	3,15	21,3	6,6	39,2
		2,5	15,8	7,1	40,9	2,47	17,9	7,26	40,7
		3,04	19	8,24	48	2,02	17,4	5,77	35,4
		3,18	20,9	8,1	50,1	2,73	15,6	8,06	50,2
		2,75	18,2	7,47	44,8	2,56	17,4	8,79	51,2
		2,75	18,2	7,75	42,2	3,82	25,1	8,23	50,8
		2,75	20,4	10,05	51,3	2,74	17,7	7,1	47,3
		1,46	11	8,41	50,1	3,04	24,1	7,45	51,9
		2,02	15,2	8,05	43,8	2,61	16,1	6,42	45,7
		1,92	13,7			3,74	27,1	7,14	44,9
		1,43	10,7						
		4,46	25,3						
		3,7	23,2						
		3,26	19,9						
	<b>Média</b>	<b>2,70</b>	<b>17,67</b>	<b>8,06</b>	<b>46,84</b>	<b>2,90</b>	<b>19,93</b>	<b>7,21</b>	<b>45,02</b>
	<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,82</b>	<b>4,22</b>	<b>0,80</b>	<b>3,88</b>	<b>0,53</b>	<b>3,91</b>	<b>0,89</b>	<b>5,89</b>

**Tabela A3.20.** Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Sucupira.

		DIRECÇÃO DO VEIO				DIRECÇÃO PERPENDICULAR AO VEIO			
		Ra (µm)		Rz (µm)		Ra (µm)		Rz (µm)	
		Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2
<b>PLACA LIXADA</b>	<b>t-student calculado</b>	<b>0,7521</b>		<b>0,3621</b>		<b>0,0632</b>		<b>0,0503</b>	
	<b>GL</b>	<b>27</b>		<b>27</b>		<b>20</b>		<b>20</b>	
	<b>t-student tabelado</b> para 95% confiança - TINV	<b>2,052</b>		<b>2,052</b>		<b>2,086</b>		<b>2,086</b>	
<b>PLACA NÃO LIXADA</b>	<b>t-student calculado</b>	<b>0,4799</b>		<b>0,1783</b>		<b>0,0336</b>		<b>0,4185</b>	
	<b>GL</b>	<b>24</b>		<b>24</b>		<b>19</b>		<b>19</b>	
	<b>t-student tabelado</b> para 95% confiança - TINV	<b>2,064</b>		<b>2,064</b>		<b>2,093</b>		<b>2,093</b>	

**Tabela A3.21.** Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Tatajuba.

		FACE 1				FACE 2			
		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio	
		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
<b>PLACA LIXADA</b>		4,29	26,7	5,52	34,7	2,28	16,4	5,81	40,9
		1,6	13,5	5,75	41,4	1,72	10	4,79	30,2
		1,65	12,4	6,36	34,2	3,23	17,9	4,28	30,9
		2,28	12,3	5,53	32,8	1,56	10,3	3,13	23
		2,63	15,7	6,98	45,8	1,49	10,7	8,07	50,3
		2,68	14,3	3,64	25,9	1,9	13,5	5,59	35,5
		5,54	27,3	4,98	32,5	5,76	26,7	4,83	27,2
		1,70	12	7,1	40,8	3,36	23,2	4	25,5
		1,54	8,4	5	33,2	3	17,2	6,49	42,8
		1,83	11,7	6,26	39	1,98	10,5	3,52	24,7
		1,84	12,35	2,82	17,7	1,46	10,6	4,80	32,9
		1,33	8,7	3,71	25,7	2,13	12,6	3,81	24,7
		4,71	31,7	4,81	29,3	1,45	9,7	3,66	29
		1,6	11,5			1,1	7,9	3,95	28,7
		2,39	15,3			6,81	34,6		
		2,45	18,7			1,57	9,9		
	<b>Média</b>	<b>2,50</b>	<b>15,78</b>	<b>5,27</b>	<b>33,31</b>	<b>2,55</b>	<b>15,11</b>	<b>4,77</b>	<b>31,88</b>
	<b>Desvio Padrão</b>	<b>1,25</b>	<b>6,88</b>	<b>1,30</b>	<b>7,56</b>	<b>1,61</b>	<b>7,40</b>	<b>1,35</b>	<b>7,95</b>
<b>PLACA NÃO LIXADA</b>		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
		1,92	15	5,57	31,8	1,84	14,7	6,55	41,1
		1,9	20,6	5,86	34,1	2,08	12,6	7,23	40,9
		2,54	16,9	6,69	44,5	2,12	13	5,69	36,2
		2,02	13,3	5,72	36,6	1,49	11,7	7,74	43,4
		2,05	13,3	5,62	34,1	1,71	9,8	5,92	38,9
		2,78	14,6	6,26	39,6	2,77	16,7	5,52	38,9
		2,52	16,1	5,87	32,8	2,64	17,9	5,52	41,8
		1,56	10,5	5,48	40	3,39	19,3	5,17	37,9
		3,21	19	7,01	40,6	2,27	14,3	6,98	41,1
		2,19	13,8	5,87	32,9	2,07	13,2	6,08	38
		2,24	13,3	5,9	32,3	2,93	17,5		
		2,08	13,2	5,98	36,8	2,76	16,9		
		2,68	16,2			2,96	17,7		
		2,51	14,9						
	<b>Média</b>	<b>2,30</b>	<b>15,05</b>	<b>5,99</b>	<b>36,34</b>	<b>2,39</b>	<b>15,02</b>	<b>6,24</b>	<b>39,82</b>
	<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,43</b>	<b>2,59</b>	<b>0,46</b>	<b>4,05</b>	<b>0,56</b>	<b>2,86</b>	<b>0,85</b>	<b>2,19</b>

**Tabela A3.22.** Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Tatajuba.

		DIRECÇÃO DO VEIO				DIRECÇÃO PERPENDICULAR AO VEIO			
		Ra (µm)		Rz (µm)		Ra (µm)		Rz (µm)	
		Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2
<b>PLACA LIXADA</b>	t-student calculado	0,9285		0,7902		0,3363		0,6369	
	GL	30		30		25		25	
	t-student tabelado	2,042		2,042		2,060		2,060	
	para 95% confiança - TINV								
<b>PLACA NÃO LIXADA</b>	t-student calculado	0,6551		0,9797		0,3812		0,0246	
	GL	25		25		20		20	
	t-student tabelado	2,060		2,060		2,086		2,086	
	para 95% confiança - TINV								

Tabela A3.23. Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Wengé.

		FACE 1				FACE 2			
		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio	
		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
PLACA LIXADA		2,67	14,8	5,02	31,9	4,17	26,8	5,78	41,5
		2,96	20,5	9,54	58,8	2,99	18,2	4,73	32,2
		3,43	20,2	4,96	34,3	4,3	24,5	6,54	40,3
		2,13	14,1	5,51	34,2	4,51	24,7	7	45,7
		3,11	19,6	6,82	37,6	4,56	25	5,89	36,7
		1,84	11,7	4,32	28,9	2,63	16,3	6,19	42,9
		2,41	13,7	5,68	38,2	3,68	24,3	5,25	38,9
		1,86	12,7	5,55	33,4	2,75	18,8	5,57	35,1
		2,86	19,7	5,2	32,7	2,48	14,6	5,17	34,3
		2,74	16,6	6,75	45	2,4	16,1	6,91	47,4
		3,88	24,9	4,53	43,1	4,12	26,1	7,96	43,6
				4,76	33,8	2,65	15,6	6,96	39,6
						4,35	26,5	7,72	43,9
	Média	2,72	17,14	5,72	37,66	3,51	21,35	6,28	40,16
	Desvio Padrão	0,64	4,12	1,43	8,10	0,86	4,74	1,00	4,61
PLACA NÃO LIXADA		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
		1,3	8,8	6,98	39,7	2,85	17,2	7,36	44,8
		2,72	20,7	5,77	34,3	3,83	23,8	6,12	39,9
		2,7	15,3	6,71	38,5	3,87	23,5	6,44	41,2
		2,47	14,9	6,02	37,3	3,59	20,8	7,4	48
		2,93	18,4	7,37	46,3	4,15	23,3	5,97	35,7
		2,59	18,2	6,54	44,5	3,49	21,1	7	42,4
		4	23	5,93	38,8	3,33	25,3	5,47	33,7
		2,36	16,6	6,27	38,4	3,63	22,8	7,07	40,8
		2,64	17	5,79	36	3,17	21,1	5,8	36
		3,38	20,2	8,08	45,2	3,65	20,2	7,84	47,8
		2,77	17,8	6,44	31,7	2,62	17,3	6,35	40,1
		3,06	19,7	6,57	38,9				
		3,62	22,9	6,02	39,6				
	Média	2,81	17,96	6,50	39,17	3,47	21,49	6,62	40,95
	Desvio Padrão	0,66	3,75	0,67	4,19	0,45	2,59	0,76	4,69

Tabela A3.24. Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Wengé.

		DIRECÇÃO DO VEIO				DIRECÇÃO PERPENDICULAR AO VEIO			
		Ra (µm)		Rz (µm)		Ra (µm)		Rz (µm)	
		Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2
PLACA LIXADA	t-student calculado	0,0199		0,0314		0,2634		0,3473	
	GL	22		22		23		23	
	t-student tabelado	2,074		2,074		2,069		2,069	
	para 95% confiança - TINV								
PLACA NÃO LIXADA	t-student calculado	0,0101		0,0153		0,6832		0,3377	
	GL	22		22		22		22	
	t-student tabelado	2,074		2,074		2,074		2,074	
	para 95% confiança - TINV								

Tabela A3.25. Valores experimentais de Ra e Rz, para a espécie Mutene.

		FACE 1				FACE 2			
		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio		Direcção do Veio		Direcção Perpendicular ao Veio	
		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
PLACA LIXADA		2,56	16,3	11,34	57,3	2,46	19,8	7,57	56,6
		2,73	15,9	7,86	48,5	3,85	22,7	9,28	58,1
		2,59	18,3	10,66	63,3	6,83	43,9	9,26	53
		3,22	19,1	7,95	46,7	2,65	16,7	8,16	54
		6,24	41,0	8,98	67,3	3,51	21,3	7,16	43,1
		3,51	23,6	7,93	54,6	5,98	37,8	8,44	46,3
		3,94	22,7	6,19	43,9	3,05	18,2	6,95	41,2
		2,51	13,5	10,48	65,8	2,05	14,8	9,26	52,3
		2,69	17,5	8,35	55,5	2,65	17,4	6,78	48,5
		2,07	16,3	7,81	54,3	3,04	18,8	12,95	74,5
		2,17	16,9	12,05	72,2	2,25	13,9	9,13	54
		3,41	18,6	11,56	79,2	2,33	16		
		2,78	15,8	7,47	47,8				
	Média	3,11	19,65	9,13	58,18	3,39	21,78	8,63	52,87
	Desvio Padrão	1,08	6,98	1,86	10,72	1,51	9,35	1,73	8,98
PLACA NÃO LIXADA		Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
		3,85	24,7	10,55	60,3	1,95	12,4	7,36	43,4
		3,54	23	12,57	70,2	3,65	23,8	11,13	61,8
		1,27	10,1	8,67	53,5	3,76	21,9	9,17	54,9
		2,75	16,9	9,83	62,2	2,59	16,2	7,21	47,7
		1,26	7,8	8,79	53,8	2,42	13,9	8,37	53,4
		3,58	21,9	11,33	57,9	3,91	25,7	9,94	60,9
		3,22	19,9	10,91	60,6	4,9	32	8,55	54
		2,91	16,3	10,84	68	2,91	16,6	9,06	53,8
		5,83	37,7	10,82	65	2,93	16,1	11,05	57,4
		3,78	24,3	7,82	43,9	2,02	13,6	9,95	59,8
		1,26	8,1	8,88	55,9	1,95	18,7	9,11	51,8
		4,82	26,4	8,74	53	2,47	14	9,04	50,6
		3,62	22,9			2,69	18,9		
	Média	3,21	20,00	9,98	58,69	2,93	18,75	9,16	54,13
	Desvio Padrão	1,36	8,30	1,41	7,31	0,89	5,70	1,23	5,42

Tabela A3.26. Comparação das faces dos provetes através do teste t-student, para a Mutene.

		DIRECÇÃO DO VEIO				DIRECÇÃO PERPENDICULAR AO VEIO			
		Ra (µm)		Rz (µm)		Ra (µm)		Rz (µm)	
		Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2
PLACA LIXADA	t-student calculado	0,5998		0,5246		0,5105		0,2067	
	GL	23		23		22		22	
	t-student tabelado para 95% confiança - TINV	2,069		2,069		2,074		2,074	
PLACA NÃO LIXADA	t-student calculado	0,5516		0,6596		0,1443		0,0961	
	GL	24		24		22		22	
	t-student tabelado para 95% confiança - TINV	2,064		2,064		2,074		2,074	



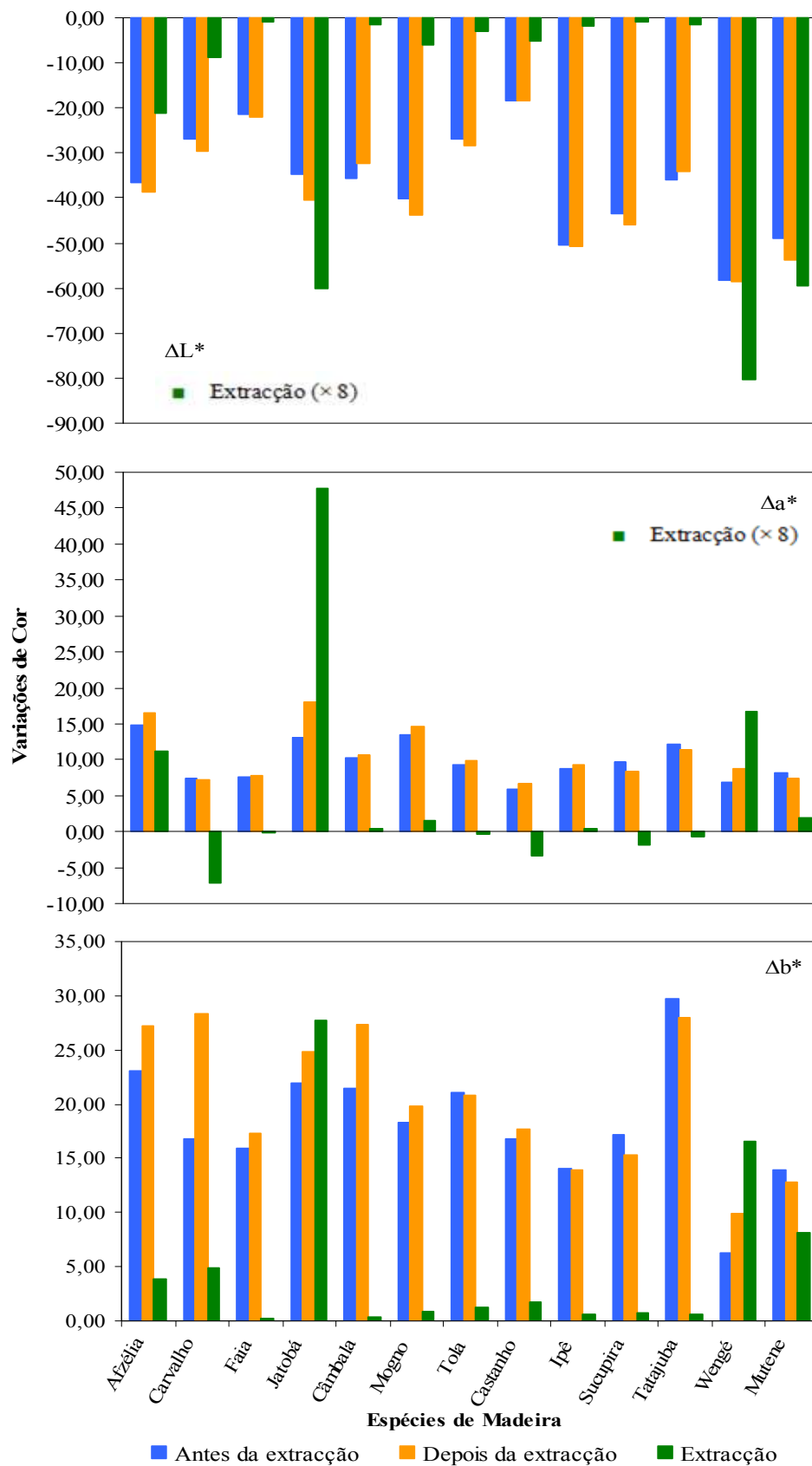
## Anexo 4. Cor

**Tabela A4.1.** Parâmetros colorimétricos médios nas 3 fases do ensaio.

Espécies de Madeira	Parâmetros	Amostras antes das extracções		Amostras depois das extracções		Extracções	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Afzélia	L*	59,42	2,60	57,30	0,14	97,35	0,03
	a*	14,28	0,47	15,99	0,19	1,40	0,01
	b*	25,66	1,01	29,79	0,80	3,94	0,02
Carvalho	L*	69,09	1,05	66,33	1,39	98,89	0,04
	a*	6,88	0,28	6,67	0,61	-0,90	0,01
	b*	19,38	0,43	30,95	3,00	4,85	0,02
Faia	L*	74,37	0,85	73,93	1,23	99,90	0,11
	a*	7,09	0,30	7,36	0,22	-0,01	0,01
	b*	18,51	0,42	19,88	0,18	0,30	0,01
Jatobá	L*	61,14	1,26	55,35	1,22	92,46	0,08
	a*	12,68	0,27	17,50	0,80	5,97	0,19
	b*	24,48	0,65	27,35	0,50	27,76	0,21
Câmbala	L*	60,28	2,38	63,62	0,27	99,80	0,01
	a*	9,78	0,49	10,07	0,19	0,05	0,00
	b*	23,96	1,35	29,92	0,19	0,43	0,01
Mogno	L*	55,78	0,93	52,00	0,90	99,22	0,45
	a*	13,04	0,24	14,09	0,09	0,20	0,18
	b*	20,80	0,37	22,41	0,46	0,91	0,21
Tola	L*	69,04	1,23	67,63	0,57	99,62	0,01
	a*	8,91	0,41	9,44	0,29	-0,05	0,03
	b*	23,58	0,70	23,42	0,50	1,23	0,06
Castanho	L*	77,54	1,22	77,41	0,58	99,34	0,15
	a*	5,50	0,34	6,23	0,16	-0,42	0,06
	b*	19,33	1,04	20,21	0,61	1,72	0,06
Ipê	L*	45,57	1,16	45,22	0,64	99,75	0,13
	a*	8,19	0,77	8,84	0,12	0,05	0,04
	b*	16,53	0,91	16,41	0,19	0,60	0,02
Sucupira	L*	52,46	1,51	49,96	1,02	99,87	0,04
	a*	9,29	0,68	7,94	0,31	-0,24	0,00
	b*	19,68	1,34	17,86	0,51	0,75	0,00
Tatajuba	L*	59,84	0,93	61,74	0,71	99,81	0,02
	a*	11,67	0,32	10,96	0,57	-0,08	0,01
	b*	32,22	0,86	30,48	0,21	0,68	0,00
Wengé	L*	37,62	3,47	37,31	2,41	89,95	0,01
	a*	6,32	1,42	8,34	0,27	2,10	0,02
	b*	8,77	2,61	12,48	0,72	16,61	0,04
Mutene	L*	46,83	1,32	42,16	3,71	92,57	0,02
	a*	7,74	0,40	6,92	1,22	0,24	0,01
	b*	16,45	1,15	15,33	2,68	8,23	0,01

**Tabela A4.2.** Variação dos parâmetros colorimétricos médios nas 3 fases do ensaio.

Espécies de Madeira	Variação dos Parâmetros	Amostras antes das extracções		Amostras após as extracções		Extracções	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Afzélia	$\Delta L^*$	-36,48	2,60	-38,60	0,14	-2,64	0,03
	$\Delta a^*$	14,75	0,47	16,46	0,19	1,40	0,01
	$\Delta b^*$	23,12	1,01	27,25	0,80	3,93	0,02
Carvalho	$\Delta L^*$	-26,81	1,05	-29,57	1,39	-1,11	0,04
	$\Delta a^*$	7,35	0,28	7,14	0,61	-0,90	0,01
	$\Delta b^*$	16,84	0,43	28,41	3,00	4,84	0,02
Faia	$\Delta L^*$	-21,53	0,85	-21,97	1,23	-0,09	0,11
	$\Delta a^*$	7,56	0,30	7,83	0,22	-0,01	0,01
	$\Delta b^*$	15,97	0,42	17,34	0,18	0,29	0,01
Jatobá	$\Delta L^*$	-34,76	1,26	-40,55	1,22	-7,53	0,08
	$\Delta a^*$	13,15	0,27	17,97	0,80	5,97	0,19
	$\Delta b^*$	21,94	0,65	24,81	0,50	27,75	0,21
Câmbala	$\Delta L^*$	-35,63	2,38	-32,28	0,27	-0,19	0,01
	$\Delta a^*$	10,25	0,49	10,54	0,19	0,05	0,00
	$\Delta b^*$	21,42	1,35	27,38	0,19	0,42	0,01
Mogno	$\Delta L^*$	-40,13	0,93	-43,90	0,90	-0,77	0,45
	$\Delta a^*$	13,51	0,24	14,56	0,09	0,20	0,18
	$\Delta b^*$	18,26	0,37	19,87	0,46	0,90	0,21
Tola	$\Delta L^*$	-26,86	1,23	-28,27	0,57	-0,37	0,01
	$\Delta a^*$	9,38	0,41	9,91	0,29	-0,05	0,03
	$\Delta b^*$	21,04	0,70	20,88	0,50	1,22	0,06
Castanho	$\Delta L^*$	-18,36	1,22	-18,49	0,58	-0,65	0,15
	$\Delta a^*$	5,97	0,34	6,70	0,16	-0,42	0,06
	$\Delta b^*$	16,79	1,04	17,67	0,61	1,71	0,06
Ipê	$\Delta L^*$	-50,33	1,16	-50,68	0,64	-0,24	0,13
	$\Delta a^*$	8,66	0,77	9,31	0,12	0,05	0,04
	$\Delta b^*$	13,99	0,91	13,87	0,19	0,59	0,02
Sucupira	$\Delta L^*$	-43,45	1,51	-45,94	1,02	-0,12	0,04
	$\Delta a^*$	9,76	0,68	8,41	0,31	-0,24	0,00
	$\Delta b^*$	17,14	1,34	15,32	0,51	0,74	0,00
Tatajuba	$\Delta L^*$	-36,06	0,93	-34,17	0,71	-0,18	0,02
	$\Delta a^*$	12,14	0,32	11,43	0,57	-0,08	0,01
	$\Delta b^*$	29,68	0,86	27,94	0,21	0,67	0,00
Wengé	$\Delta L^*$	-58,28	3,47	-58,60	2,41	-10,04	0,01
	$\Delta a^*$	6,79	1,42	8,81	0,27	2,10	0,02
	$\Delta b^*$	6,23	2,61	9,94	0,72	16,60	0,04
Mutene	$\Delta L^*$	-49,07	1,32	-53,75	3,71	-7,43	0,02
	$\Delta a^*$	8,21	0,40	7,39	1,22	0,24	0,01
	$\Delta b^*$	13,91	1,15	12,79	2,68	8,22	0,01



**Figura A4.1.** Variações de cor expressa nas diferenças individuais dos parâmetros do sistema CIELab para cada espécie de madeira.

**Tabela A4.3.** Diferença de cor média para as espécies estudadas.

Espécies de Madeira	Diferença de Cor, $\Delta E$					
	Antes da Extracção		Depois da Extracção		Extracção	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
<b>Afzélia</b>	45,69	1,86	50,03	0,51	4,93	0,01
<b>Carvalho</b>	32,50	1,00	41,71	1,19	5,04	0,03
<b>Faia</b>	27,86	0,93	29,07	0,94	0,32	0,02
<b>Jatobá</b>	43,17	0,80	50,82	1,35	29,37	0,14
<b>Câmbala</b>	42,84	2,25	43,62	0,25	0,46	0,01
<b>Mogno</b>	46,12	0,68	50,34	0,59	1,26	0,10
<b>Tola</b>	35,40	1,03	36,52	0,47	1,28	0,05
<b>Castanho</b>	25,59	1,48	26,45	0,51	1,88	0,01
<b>Ipê</b>	52,97	0,97	53,36	0,62	0,64	0,07
<b>Sucupira</b>	47,75	1,03	49,16	0,95	0,79	0,00
<b>Tatajuba</b>	48,27	0,68	45,59	0,68	0,70	0,00
<b>Wengé</b>	59,10	3,02	60,09	2,21	19,51	0,05
<b>Mutene</b>	51,68	1,00	55,83	2,80	11,08	0,01

## Anexo 5 Análise por espectrofotometria UV-Visível

**Tabela A5.1.** Parâmetros lidos ( $\lambda$  e Abs) da análise por espectrofotometria UV-Visível.

Espécies de Madeira	T <sub>ambiente</sub> (°C)	Diluições	λ (nm)	Absorvâncias (Jasco V-650)	Observações
Afzélia	21	Sem diluição	420	0,206	
		Diluição 50%	272	2 × 2,145	
			420	2 × 0,105	
Carvalho	21	Sem diluição	420	0,363	
		Diluição 50%	420	2 × 0,186	
		Diluição 25%	420	4 × 0,099	
Faia	21	Sem diluição	274	0,389	
			420	0,038	
Jatobá	21	Sem diluição	420	0,287	
		Diluição 50%	420	2 × 0,149	
		Diluição 25%	420	4 × 0,0755	
Câmbala	21	Sem diluição	280	0,385	Absorvância Máxima
			320	0,301	Pico
			420	0,018	
Mogno	21	Sem diluição	280	0,313	Absorvância Máxima
			420	0,021	
Tola	21	Sem diluição	280	0,396	Absorvância Máxima
			420	0,027	
Castanho	17	Sem diluição	420	0,0912	
		Diluição 50%	420	2 × 0,0486	
Ipê	17	Sem diluição	280	1,588	
			420	0,0402	
		Diluição 50%	280	2 × 0,782	
Sucupira	17	Sem diluição	420	2 × 0,0153	
			270	2,062	
			326	1,969	
		Diluição 50%	420	0,0532	
			270	2 × 1,044	
			326	2 × 0,994	
Tatajuba	17	Sem diluição	420	2 × 0,0307	
			282	0,849	
		Diluição 50%	282	2 × 0,481	
Wengé	17	Sem diluição	420	2 × 0,0383	
			282	0,0579	
		Diluição 50%	264	2 × 4,662	
			420	2 × 0,695	
Mutene	22	Sem diluição	284	4 × 2,022	
			420	4 × 0,354	
		Diluição 50%	282	2,542	
			354	0,548	
			420	0,168	
		Diluição 25%	282	2 × 1,257	
354	2 × 0,277				
420	2 × 0,0938				
		Sem diluição	282	4 × 0,636	
			354	4 × 0,144	
		420	4 × 0,0571		

## Anexo 6 Identificação de Compostos por LCMS

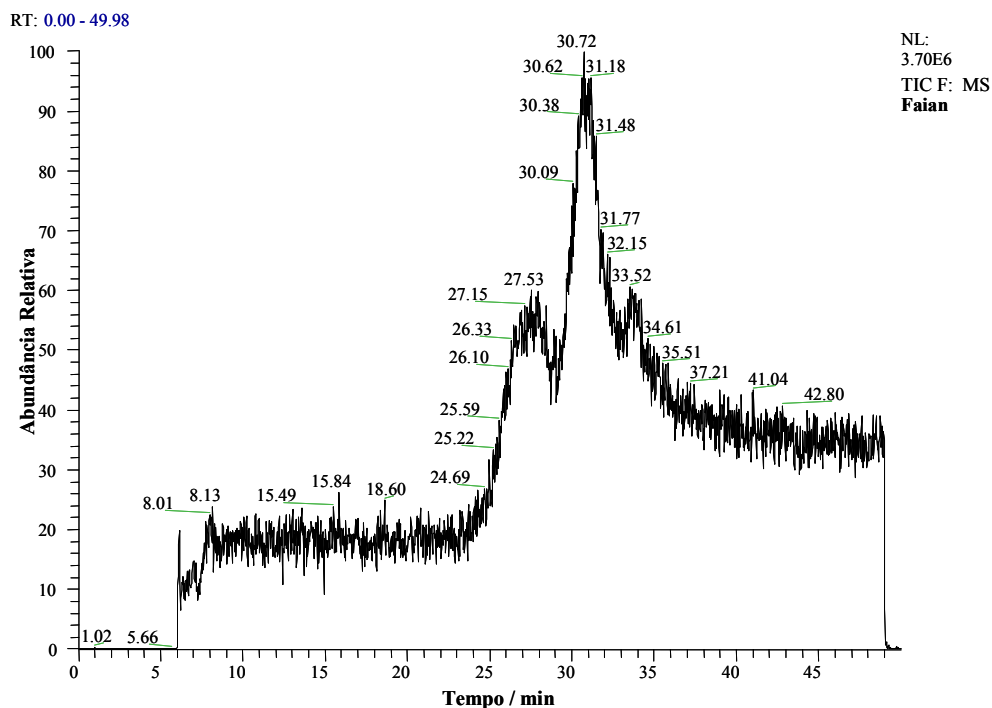


Figura A6.1. Cromatograma de “full MS” para o extracto de Faia.

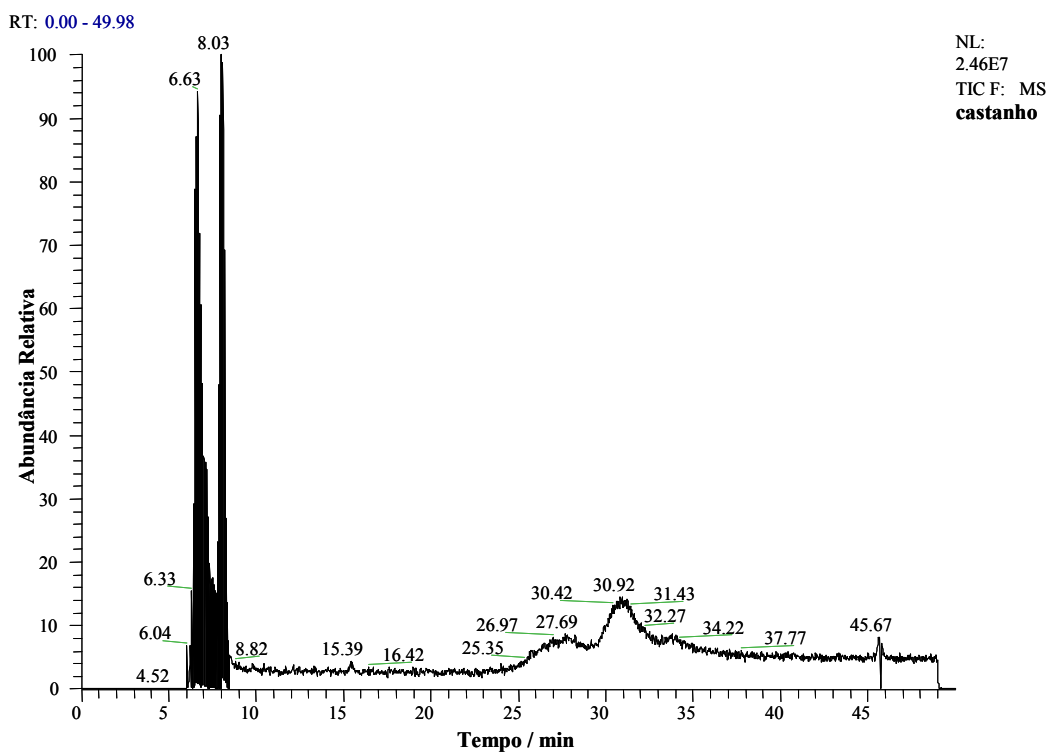


Figura A6.2. Cromatograma de “full MS” para o extracto de Castanho.

RT: 0.00 - 49.99

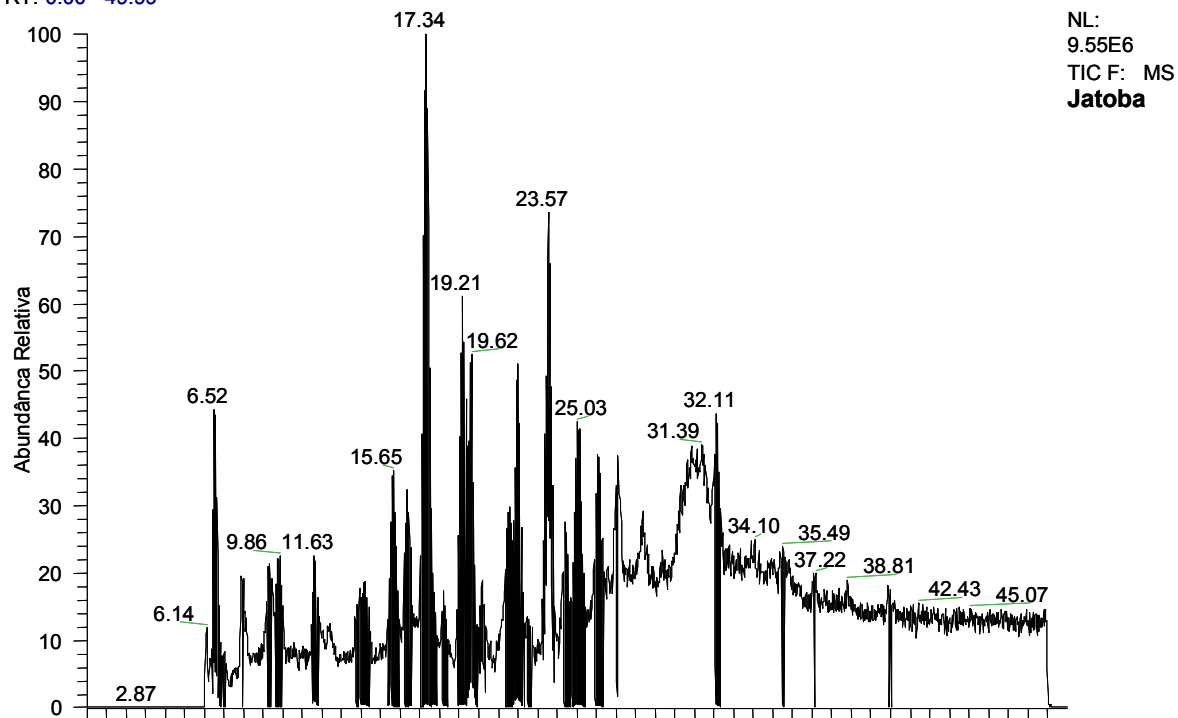


Figura A6.3. Cromatograma de “full MS” para o extracto de Jatobá.

RT: 0.00 - 50.00

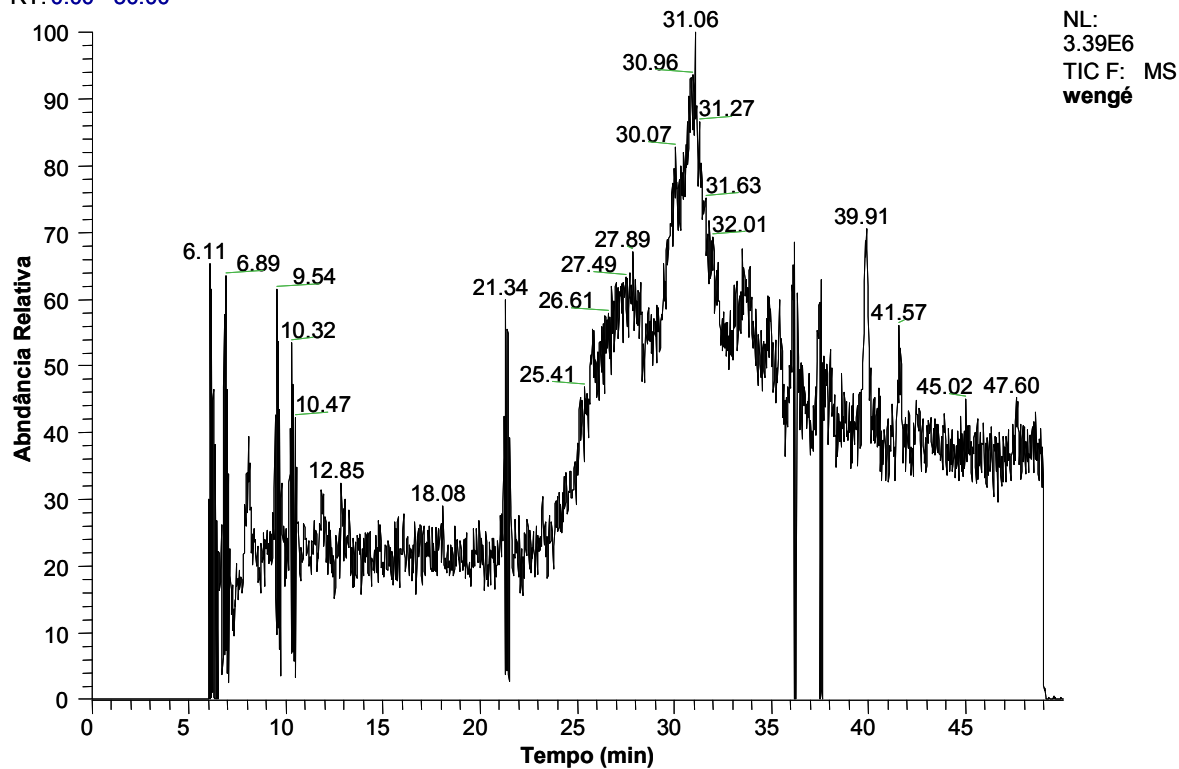


Figura A6.4. Cromatograma de “full MS” para o extracto de Wengé.